UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE SAÚDE PÚBLICA

**ANÁLISE DE METODOLOGIAS DE DETERMINAÇÃO DA VIABILIDADE DE
IMPLANTAÇÃO DE TECNOLOGIAS, TÉCNICAS E PRÁTICAS, PARA
GERENCIAMENTO DE EMISSÕES DE MATERIAL PARTICULADO, NA REGIÃO
METROPOLITANA DE SÃO PAULO**

PRISCILA FREIRE ROCHA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade, da Faculdade de Saúde Pública, da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. João Vicente de Assunção

SÃO PAULO
2019

**ANÁLISE DE METODOLOGIAS DE DETERMINAÇÃO DA VIABILIDADE DE
IMPLANTAÇÃO DE TECNOLOGIAS, TÉCNICAS E PRÁTICAS, PARA
GERENCIAMENTO DE EMISSÕES DE MATERIAL PARTICULADO, NA REGIÃO
METROPOLITANA DE SÃO PAULO**

PRISCILA FREIRE ROCHA

VERSÃO CORRIGIDA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade, da Faculdade de Saúde Pública, da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. João Vicente de Assunção

Versão Corrigida

SÃO PAULO

2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo da Publicação

Ficha elaborada pelo Sistema de Geração Automática a partir de dados fornecidos pelo(a) autor(a)
Bibliotecária da FSP/USP: Maria do Carmo Alvarez - CRB-8/4359

ROCHA, PRISCILA F.

ANÁLISE DE METODOLOGIAS DE DETERMINAÇÃO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE TECNOLOGIAS, TÉCNICAS E PRÁTICAS, PARA GERENCIAMENTO DE EMISSÕES DE MATERIAL PARTICULADO, NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO / PRISCILA F. ROCHA; orientador JOÃO VICENTE DE ASSUNÇÃO. -- São Paulo, 2019. 140 p.

Dissertação (Mestrado) -- Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 2019.

1. Qualidade do ar. 2. Viabilidade. 3. Custo efetividade. 4. Best Available Technique (BAT). 5. Best Environmental Practices (BEP). I. ASSUNÇÃO, JOÃO VICENTE DE, orient. II. Título.

ROCHA, Priscila Freire Análise de metodologias de determinação da viabilidade de implantação de tecnologias, técnicas e práticas, para gerenciamento de emissões de material particulado, na Região Metropolitana de São Paulo - Orientador: Prof. Dr. João Vicente de Assunção - Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, pelos caminhos que me permite seguir, sempre com seu amor e força presentes.

Ao Prof. Dr. João Vicente de Assunção, pela orientação e tranquilidade de um sábio, que motivava e cativava a cada reunião realizada.

Aos meus queridos pais e irmãos pelo carinho e apoio contínuo às escolhas que me fazem feliz.

Aos meus grandes amigos, que nem sempre estão fisicamente presentes, mas que sabem fazer a diferença na minha vida, mesmo estando em qualquer lugar deste mundo.

Ao Caio Ruotolo, pelo carinho e apoio nos momentos de preocupação e ansiedade.

À minha grande amiga Lucilene Carvalho pelas conversas e pronta ajuda sempre.

Aos meus amigos Nelson Nefussi, Alfred Swarc, Anicia Pio, Jorge Rocco e Natacha Britschka pelas profícuas conversas técnicas e suporte ao longo destes anos.

À Fiesp, pelo incentivo à minha capacitação e permissão de utilização de horas de trabalho para a participação de disciplinas e desenvolvimento da dissertação.

Aos meus pais, Jorge e Rute, exemplos de vida.

RESUMO

ROCHA, P.F. **Análise de metodologias de determinação da viabilidade de implantação de tecnologias, técnicas e práticas, para gerenciamento de emissões de material particulado, na Região Metropolitana de São Paulo.** 2019. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

A gestão da qualidade do ar é um desafio global, considerando que em muitos países, como no Brasil, a concentração da população em regiões metropolitanas é relevante, assim como sua exposição à poluentes atmosféricos. No estado de São Paulo, ao longo dos anos, as regulações que integraram a gestão da qualidade do ar têm incorporado novos instrumentos, exigências. Porém, identifica-se a ausência de procedimentos oficiais para auxiliar a concepção de políticas públicas. O objetivo deste trabalho foi de analisar metodologias existentes nos Estados Unidos da América e União Europeia, que possam auxiliar o planejamento de políticas públicas de qualidade do ar, em especial, para material particulado na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e também de análises de viabilidade técnica e econômica de implantação de novas tecnologias, técnicas e práticas, do inglês *Best Available Techniques* (BAT)/ *Best Environmental Practices* (BEP). Por meio de pesquisa exploratória, utilizando-se de revisão bibliográfica e documental, este trabalho verificou a ausência sistemática de elementos como: análises de custo-efetividade de políticas públicas, consideração de modelagens integradas para concepção de políticas públicas, envolvimento de partes interessadas no planejamento de medidas. Quanto aos elementos para realizar análise de viabilidade técnica de implementação de BAT/BEP, foi possível identificar aspectos de avaliação de efeitos cruzados ambientais e econômicos, bancos de dados americanos e europeus contendo BAT/BEP e seus custos, que, com a devida adaptação, poderiam ser também uma referência. Trata-se de elementos importantes para subsidiar tomadas de decisão e buscar medidas, para que possam, de fato, levar à melhoria da qualidade do ar, para material particulado (MP₁₀).

Palavras-chave: Qualidade do ar. Viabilidade. Custo-efetividade. Material Particulado. *Best Available Techniques*. *Best Environmental Practices*. BAT.BEP.

ABSTRACT

ROCHA, P.F. **Analysis of methodologies for determining the feasibility of implementing technologies, techniques and practices for the particulate matter management of emissions in the Metropolitan Region of São Paulo.** 2019. 140 p. Master Thesis – School of Public Health, University of São Paulo, São Paulo, 2019.

Air quality management is a global challenge, considering that in many countries, such as Brazil, the concentration of population in metropolitan regions is relevant and also their exposure to air pollutants. In the state of São Paulo, over the years, regulations that have integrated air quality management have incorporated new instruments, requirements. However, it is identified the absence of official procedures to assist the design of public policies. The objective of this work was to analyze existing methodologies in the United States and the European Union, which can assist in the planning of air quality public policies, especially for particulate matter in the Metropolitan Region of São Paulo (RMSP), as well as technical and economic feasibility analyzes for implementation of new technologies, techniques and practices from Best Available Techniques (BAT) / Best Environmental Practices (BEP). Through an exploratory research, using a bibliographical and documentary review, this work verified the systematic absence of elements such as: cost-effectiveness analysis of public policies, consideration of integrated modeling for public policy design, stakeholder involvement in planning of measures. As for the elements to perform technical feasibility analysis of BAT / BEP implementation, it was possible to identify aspects of environmental and economic cross-effects evaluation, American and European databases containing BAT / BEP and their costs, which, with due adaptation, could also be a reference. Those are important elements to support decision-making and seek measures, so that they can, in fact, lead to improved air quality for particulate matter (PM₁₀).

Keywords: Air Quality. Feasibility. Cost-effectiveness. Particulate Matter. Best Available Techniques. Best Environmental Practices. BAT.BEP.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estimativa de morte prematura de acordo com riscos ambientais. Base 2010-2050	17
Figura 2- Municípios que compõem a Região Metropolitana de São Paulo.....	34
Figura 3- Tendência das concentrações médias de MP ₁₀ nos EUA.....	53
Figura 4- Tendência das concentrações médias de MP ₁₀ na região nordeste dos EUA.....	54
Figura 5- Concentrações de MP ₁₀ em relação ao valor limite anual de 2016 na União Europeia.....	55
Figura 6- Evolução das concentrações médias anuais para MP ₁₀ , na RMSP.....	56
Figura 7- Origem de poluentes por tipo de fonte na RMSP.....	57
Figura 8- Esquema simplificado de aspectos relacionados em diferentes estágios dos Planos de Qualidade do Ar europeus.....	61
Figura 9- Esquema DPSI adaptado para modelagem de análise integrada (IAM) em escala regional/ local.....	68
Figura 10- Esquema contendo etapas de análise de custo-efetividade e custo-benefício das emendas de 1990 do <i>Clean Air Act</i>	71
Figura 11- Fluxograma esquemático do modelo RAINS.	73
Figura 12- Abordagem multi-polvente/ multi-efeito do modelo GAINS	74

Figura 13- Exemplo de resultado do Modelo RIAT	75
Figura 14- Banco de dados dos EUA, contendo informações de BACT, RACT, LAER	80
Figura 15- Elementos que compõem o Capital Total de Investimento, conforme Manual de Custo de Controle da Poluição do Ar da USEPA.....	82
Figura 16- Custo total anual de acordo com o Manual de Custo de Controle da Poluição do Ar da USEPA.....	84
Figura 17- Estrutura de guias para a análise de Efeitos Cruzados, segundo o Guia de Efeitos Econômicos e Efeitos Cruzados da União Europeia.	97
Figura 18- Metodologia de análise de custo, segundo o Guia de Efeitos Econômicos e Efeitos Cruzados da União Europeia	100
Figura 19- Avaliação de alternativas de BAT/BEP, de acordo com o guia de Efeitos Econômicos e Efeitos Cruzados da União Europeia	102

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Estimativa da frota circulante no estado de São Paulo em 2016	35
Quadro 2- Caracterização de indústrias na RMSP por número de estabelecimento	35
Quadro 3- Ordem de magnitude da contribuição típica de fontes de emissão em relação a material particulado	38
Quadro 4- Padrões de qualidade do ar nacionais, intermediários e final, de acordo com a Resolução Conama nº491/ 2018.	48
Quadro 5- Padrões e metas de qualidade do ar aprovados na 283ª Reunião Ordinária do Plenário do Conselho Estadual de Meio Ambiente- Consema, em maio de 2011.	49
Quadro 6- Magnitude das reduções calculadas de acordo com o poluente que estava acima da meta “MI1” nas RCs estabelecidas pelo PREFE-2014.....	52
Quadro 7- Fatores que compõem o custo de capital dos filtros de manga	86
Quadro 8- Custos diretos e indiretos para instalação de lavador Venturi.....	88
Quadro 9- Fatores que compõem o custo anual de lavadores de gases	89
Quadro 10- Custo total de investimento para precipitador eletrostático	91
Quadro 11- Resumo das metas de emissão de MP de fontes fixas e móveis na RC-01	112

Quadro 12- Comparativo de instrumentos de políticas públicas de qualidade do ar	115
---	-----

Quadro 13-Elementos que compõem a análise crítica de ações implementadas nos EUA e União Europeia, de acordo com políticas públicas de qualidade do ar	119
--	-----

Quadro 14- Comparativo de elementos constantes da análise de viabilidade de implementação de BAT/BEP para MP, nos EUA e UE	124
--	-----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BACT -	<i>Best Available Control Technology</i>
BAT -	<i>Best Available Technique</i>
BC -	<i>Black Carbon</i>
BEP -	<i>Best Environmental Practices</i>
BREF -	<i>Best Available Techniques Reference Documents</i>
CETESB -	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CE -	Comunidade Europeia
CONAMA -	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CONSEMA -	Conselho Estadual de Meio Ambiente
USEPA -	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
GBD -	<i>Global Burden Disease</i>
IPPC -	<i>Integrated Pollution Prevention and Control</i>
LAER -	<i>Lowest Achievable Emission Rate</i>
MAA -	Média Aritmética Anual
MCM	<i>Menu of Control Measures</i>
MGA -	Média Geométrica Anual
MP _{2,5}	Material Particulado de diâmetro aerodinâmico de 2,5µm
MP ₁₀	Material Particulado de diâmetro aerodinâmico de 10µm
MTPD -	Melhor Tecnologia Prática Disponível
NSR -	<i>New Source Review</i>
OMS -	Organização Mundial da Saúde
PAH -	<i>Polycyclic Aromatic Hydrocarbons</i>
PCPV -	Plano de Controle de Poluição Veicular
PREFE -	Plano de Redução de Emissões de Fontes Estacionárias
PQA	Padrão de Qualidade do Ar
PRONAR -	Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar
PSD	<i>Prevention of Significant Deterioration</i>

RACT -	<i>Reasonably Available Control Technology</i>
RC -	Região de Controle
RMSP -	Região Metropolitana de São Paulo
SIP-	<i>State Implementation Plan</i>
UNEP -	<i>United Nations Environment Programme</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 PROBLEMATIZAÇÃO DA PESQUISA	22
2 OBJETIVOS.....	26
2.1 GERAIS	26
2.2 ESPECÍFICOS.....	26
3 MÉTODO.....	27
3.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	28
3.2 PRESSUPOSTOS	28
3.3 CLASSIFICAÇÃO DAS PESQUISA	29
3.4 PROCEDIMENTOS	29
3.4.1 Revisão bibliográfica	29
3.4.2 Revisão documental	30
3.4.2.1 Documentos internacionais.....	30
3.4.2.2 Documentos dos Estados Unidos da América	31
3.4.2.3 Documentos da União Europeia	31
3.4.2.4 Documentos do Brasil e São Paulo	32
3.4.3 Comparações	32
3.5 ETAPAS.....	33
3.6 DESCRIÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO.....	34
4 REFERENCIAL TEÓRICO-PRÁTICO	36
4.1 MATERIAL PARTICULADO	36
4.2 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR	38
4.3 CUSTO-EFETIVIDADE E CUSTO-BENEFÍCIO	40
4.4 HISTÓRICO DE LEGISLAÇÃO FEDERAL.....	42
4.4.1 Marcos legais dos EUA e União Europeia	42
4.4.2 Marcos legais do Brasil	43
4.4.2.1 Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar	45
4.5 HISTÓRICO DE LEGISLAÇÃO DO ESTADO DE SÃO PAULO.....	48
4.5.1 Definição de metas de emissão de poluentes	50
4.6 SITUAÇÃO DA QUALIDADE DO AR PARA MP ₁₀ NAS REGIÕES EM ESTUDO.....	53
4.7 GESTÃO DA QUALIDADE DO AR.....	57
4.8 MELHORES TECNOLOGIAS AMBIENTAIS	62
4.8.1 Definição dos Estados Unidos da América	62

4.8.2 Definição da União Europeia	64
4.8.3 Definições do Brasil e de São Paulo.....	64
4.9 MELHORES PRÁTICAS AMBIENTAIS	65
4.10 METODOLOGIAS DE AUXÍLIO NA TOMADA DE DECISÃO	66
4.10.1 Modelo de Análise Integrada	68
4.10.2 Análise de viabilidade de implantação de BAT/BEP	76
4.10.2.1 Estados Unidos da América.....	78
4.10.2.1.1 Filtro de Mangas	85
4.10.2.1.2 Lavador de Gases.....	87
4.10.2.1.3 Precipitador Eletrostático	89
4.10.2.2 União Europeia	92
4.10.2.2.1 Efeitos Econômicos e Efeitos Cruzados	95
4.10.2.3 Região Metropolitana de São Paulo	104
5 ANÁLISE E DISCUSSÃO	110
5.1 ORIGENS DO MP ₁₀ NAS REGIÕES ESTUDADAS	110
5.2 AVALIAÇÃO DE MEDIDAS ADOTADAS PARA GERENCIAMENTO DE MP NA RMSP	111
5.3 COMPARAÇÃO ENTRE INSTRUMENTOS DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA A GESTÃO DA QUALIDADE DO AR	114
5.4 ANÁLISE DAS POLÍTICAS PÚBLICAS DE QUALIDADE DO AR.....	117
5.5 VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE BAT/BEP	119
5.5.1 Estados Unidos da América.....	120
5.5.2 União Europeia	121
5.5.3 Elementos identificados nos guias americano e europeu	122
6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	125
REFERÊNCIAS.....	129
CURRÍCULO LATTES.....	140

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2012), há evidências de que, em determinadas condições de exposição a poluentes atmosféricos em ambientes externo e internos, efeitos no sistema respiratório e cardiovascular podem ocorrer em curto e longo prazo. Em vista disso, o organismo internacional também estima que mais de seis milhões de mortes prematuras ocorreram em razão da poluição atmosférica em 2012.

Projeções realizadas pela Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE) indicam que, em 2050, as concentrações de material particulado (MP) serão a maior causa de mortes resultantes de problemas ambientais no mundo, ultrapassando inclusive a complexa questão de doenças provenientes da ausência de saneamento básico (OCDE, 2011), conforme indicado na Figura 1.

Figura 1 - Estimativa de morte prematura de acordo com riscos ambientais. Base: 2010-2050

Nota: * Apenas mortalidade infantil

Extraído de: (OCDE, 2011, adaptado).

Em grandes regiões urbanas, as fontes de emissão de poluentes atmosféricos são consideradas preocupantes, seja em países desenvolvidos ou em desenvolvimento, principalmente quanto às emissões de veículos, que mundialmente correspondem a 70%-80% das emissões de poluentes atmosféricos, além de atividades domésticas, comerciais e industriais (GULIA et al, 2015).

A correlação entre exposição a poluentes atmosféricos e danos à saúde é objeto de vários estudos da OMS, desde 1958, quando a organização publicou o primeiro guia com diretrizes para gerenciamento da qualidade do ar urbana, alertando sobre a necessidade de intensificação de estudos nesse sentido, para que ações eficazes fossem tomadas no âmbito global, por meio de políticas públicas.

Um dos fatores motivadores, para a intensificação de ações para a melhoria da qualidade do ar, foi a ocorrência de episódios críticos de poluição atmosférica. Eles levaram a morte e sequelas permanentes à população urbana, devido a altas concentrações de poluentes no ar, em especial de materiais particulados (MP). Destacam-se os episódios de Meuse Valley, na Bélgica, em 1930, com registro de 60 mortes (LIPFERT, 1994), e Donora, Estados Unidos da América (EUA), em 1948, ocasionando 20 mortes e em 1952 em Londres, na catástrofe denominada de “Grande Smog”, quando 12 mil vieram a óbito (HUNT et al., 2003).

Em estudos realizados com tecidos provenientes de pulmões de algumas pessoas que estavam dentre as 4.000 que morreram, durante o episódio de Londres, em 1952, pesquisadores americanos e ingleses identificaram, por meio de microscopia eletrônica e cromatografia, relevante quantidade de partículas inaláveis (MP₁₀) e finas (MP_{2,5}) que saturaram brônquios e alvéolos pulmonares, sendo caracterizadas em grande parte por substâncias carbonáceas orgânicas e outras associadas a diferentes metais, como chumbo, antimônio e estanho (HUNT et al., 2003).

Em regiões urbanas, além da evidência dos danos, devido à presença de material particulado, que são considerados poluentes de maior importância do ponto de vista de saúde pela OMS (2016), outros poluentes com significativa probabilidade de serem encontrados em grandes cidades também são considerados prioritários pela OMS: Dióxido de Nitrogênio (NO₂), Dióxido de Enxofre (SO₂) e o Ozônio (O₃).

Trata-se de poluentes geralmente monitorados (OMS, 2006) e estudados, visando ao melhor entendimento das formas de resguardar a população por meio da indicação das concentrações máximas de exposição ao poluente, em determinados períodos de tempo, sendo valores-guia para o estabelecimento de padrões de qualidade do ar (PQA).

Além dos valores-guia para elaboração de PQAs recomendados pela OMS, outros poluentes atmosféricos são objetos de regulações em âmbito global, nacional, regional nos EUA, na União Europeia e no Brasil, regiões de estudo deste trabalho. Nesses locais, também se constata a adoção de PQAs mais restritivos que os valores-guia recomendados pela OMS, conforme relatado por Kuklinska et al. (2015) no Reino Unido, em relação ao Ozônio, e Áustria em relação a NO₂ e PM₁₀.

Os padrões de qualidade do ar são importantes referências para a gestão da qualidade do ar, porém representam apenas um componente para a definição de políticas e planos de ação, que visem à melhoria da qualidade do ar e prevenção de efeitos à saúde e ao meio ambiente, ocasionados pelos poluentes atmosféricos (OMS, 2006).

Nos EUA, desde 1990, existe a obrigação do administrador público, no caso, representado pela Agência Ambiental Americana (em inglês, *Environmental Protection Agency*, USEPA), de realizar estudo abrangente contendo análise do impacto das medidas de melhoria da qualidade do ar na saúde pública, economia e meio ambiente, conforme diretrizes da principal lei americana sobre a matéria, denominada *Clean Air Act* (USEPA, 1977). Até o momento, a USEPA publicou três relatórios, que abrangem análises de custo-efetividade das medidas previstas no *Clean Air Act* e suas emendas, desde 1970, até 2020, utilizando estimativas e projeções.

Em seu estudo sobre a estrutura e estratégias das políticas de qualidade do ar em 16 países da União Europeia, Miranda et al. (2015) apontam os macroelementos necessários para que os objetivos estipulados quanto à melhoria da qualidade do ar se concretizem em políticas públicas:

- a) caracterização das fontes de emissão;

- b) análise da contribuição das fontes para a alteração das concentrações no ambiente;
- c) priorização das fontes que necessitam de alguma ação, por meio de aspectos ambientais, de saúde e custo-efetividade.

Tais elementos visam auxiliar o tomador de decisão na elaboração e aplicação de políticas públicas que protejam a saúde e o meio ambiente, enquanto minimizam recursos financeiros para suas implementações de forma custo-efetiva (AMANN et al, 2011), considerando os responsáveis por despendem os recursos, sejam administradores públicos da qualidade do ar ou mesmo os responsáveis pela aquisição de tecnologias e técnicas, que reduzam/ eliminem as emissões atmosféricas.

Em estudos sobre os desafios de implementação dos PQAs recomendados pela OMS, a análise de custo-efetividade de medidas preconizadas por políticas públicas é apontada como uma prática vastamente adotada na União Europeia, com o objetivo de não incorrer em aplicação de recursos financeiros em ações que não resultarão na melhoria da qualidade do ar (HORDIJK e AMANN, 2007; KIESEWETTER et al., 2014).

Na União Europeia, as análises de custo-efetividade, de medidas estabelecidas por políticas públicas de qualidade do ar, foram elementos essenciais como parte dos estudos realizados para a revisão das metas de redução de poluentes atmosféricos do Protocolo de Gotemburgo¹ (UNECE, 2012; AMANN et al, 2011), bem como para a oficialização de seu “Pacote de Políticas para o Ar Limpo”. Ela ocorreu juntamente com o processo de reavaliação dos limites de emissão de fontes fixas constantes nas diretivas europeias (EUR-LEX, 2010), que naquele momento já contavam com guias de melhores tecnologias/ técnicas e práticas

¹ Protocolo de Gotemburgo: Segundo a UNECE (2012) o protocolo visa a “redução da Acidificação, Eutrofização e Ozônio troposférico sobre Poluição Atmosférica Transfronteiriça de Longo Alcance” contendo limites de emissão por membro signatário.

ambientais (do inglês BAT/BEP) e também com diretrizes para a avaliação da viabilidade de implantação da BAT/BEP² em atividades com fontes fixas.

Nesse mister, a agência ambiental europeia utilizou programas de modelagens e simulações dos impactos ambientais, à saúde e econômicos, em virtude de políticas públicas de qualidade do ar, denominados de Modelagens de Análise Integrada (em inglês, *Integrated Assessment Modeling*, IAM). Trata-se de modelagens que englobam características de tecnologias de abatimento de emissões, peculiaridades locais, onde se situam as fontes de emissão, como condições meteorológicas e outros elementos que influenciam diretamente ao atendimento dos PQAs, com o menor custo possível (VIAENE et al., 2016).

Em São Paulo, segundo o Decreto nº 59.113/2013, que revisou os PQAs do Estado (SÃO PAULO, estado, 2013), quando necessária a elaboração de Plano de Redução de Emissões de Fontes Estacionárias (PREFE), a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb) deverá realizar “acompanhamento das melhores práticas nacionais ou internacionais para a melhoria da qualidade do ar e o estudo de viabilidade de implantação dessas práticas no Estado de São Paulo”. Entretanto, não há indicação clara sobre a forma de realizar o estudo ou mesmo elementos que poderiam orientá-lo, como a análise de impactos econômicos e ambientais, além da análise técnica.

Em 2017, a Cetesb publicou o Guia de Melhores Tecnologias Práticas Disponíveis- Guia de MTPD, por meio da Decisão de Diretoria nº133/ 2017/C, objetivando sua utilização como referência para realizar diagnósticos de fontes de emissões atmosféricas e também orientar nove setores industriais quanto a tecnologias e técnicas recomendadas para abatimento de poluentes atmosféricos (CETESB, 2017).

Segundo o Guia de MTPD Cetesb, a adoção de suas recomendações deve ser precedida de estudo de “viabilidade” de implantação, porém, o documento

² O termo BAT/BEP (do inglês *Best Available Techniques/Best Environmental Practices*) será adotado neste trabalho como forma padrão de referenciar melhores tecnologias, técnicas e práticas ambientais disponíveis, pois há diferentes acrônimos adotados para este mesmo conceito nas três regiões estudadas: MTPD (Brasil), BACT/RACT/LAER (EUA) e BAT, BEP (Europa).

publicado não apresenta diretrizes para realizar o estudo de viabilidade de implantação das tecnologias e práticas.

Em âmbito nacional, a viabilidade técnica e econômica da adoção de tecnologias e técnicas para redução/ eliminação de poluentes é mencionada nas resoluções Conama nº 382/ 2006 e nº 436/2011 (BRASIL, 2006, 2011), como critério para definição de limites de emissão de poluentes de fontes fixas, mas também não indica metodologias para fazer a avaliação.

EUA e União Europeia, com seu histórico de gestão da qualidade do ar e inovação nos instrumentos utilizados (TUINSTRA, 2007; KUKLINSKA ET al., 2015) possuem procedimentos sistemáticos para incorporar a análise de custo-efetividade e viabilidade em suas políticas e adoção tecnologias, técnicas e práticas, que podem indicar caminhos a outros países, como o Brasil, visando à otimização de recursos para a redução de poluentes atmosféricos, principalmente em relação as fontes fixas na RMSP, objeto desta dissertação.

1.1 PROBLEMATIZAÇÃO DA PESQUISA

Assim como as tendências americana e europeia, quanto à gestão da qualidade do ar, os regulamentos brasileiros tiveram como motivador inicial o controle da poluição proveniente de fontes fixas em grandes centros urbanos (SLOVIC e RIBEIRO, 2017), como se enquadram as principais regiões metropolitanas do estado de São Paulo.

No Brasil, a primeira norma referente a padrões de qualidade do ar, parâmetro considerado como um instrumento de gestão desta matéria pela OMS (2006), foi a Portaria Minter nº231, publicada em 1976 pela Secretaria Especial de Meio Ambiente – SEMA, do extinto Ministério de Estado e Interior (BRASIL, 1976), incorporado ao Ministério de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, em 1985 (BRASIL, 1985).

Naquele momento, o Brasil encontrava-se em grande crescimento econômico, em que o Produto Interno Bruto alcançou a marca de 10,83% ao ano (INPES, 1883).

Período caracterizado por acentuados incentivos fiscais para atividades produtivas e de consumo, juntamente com políticas de exportação, que levaram ao aumento das atividades industriais, agrícolas e de bens de consumo, principalmente quanto à aquisição de veículos, levando, conseqüentemente, ao aumento de emissões atmosféricas de fontes fixas e móveis.

Posteriormente, a Portaria Minter nº231/ 1976 foi revogada por meio da publicação da Resolução Conama nº03/ 1990 (BRASIL, 1990), substituída pela Resolução Conama nº491/ 2018 (BRASIL, 2018), que revisou os padrões de qualidade do ar nacionais, conforme orientações do Guia de Qualidade do Ar da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2006).

O estado de São Paulo editou a primeira norma de controle de poluição atmosférica em 1976, Lei nº 997, seguida de seu Decreto regulamentador nº 8.468/ 1976 (SÃO PAULO, estado, 1976), momento em que regiões com dificuldade de dispersão de poluentes, alta atividade industrial e de tráfego de veículos, como Cubatão, já registravam casos de internações e atendimentos médicos nos hospitais municipais (CHENG, 2015).

Em vista disto, o Decreto nº 8.468/76 estabeleceu regiões de controle da qualidade do ar, padrões e limites de emissão atmosférica de fontes fixas e criou a “Operação Inverno”, que corresponde a um conjunto de ações corretivas e preventivas, durante os meses mais secos do ano, maio a setembro (CETESB, 2018), abrangendo principalmente Cubatão e a RMSP, que, em 1976, já se encontrava também com altos índices de MP (CHENG, 2015).

Em 1983, de forma complementar às medidas regulatórias, já estabelecidas no país, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - Cetesb criou o Programa de Controle da Poluição em Cubatão, que reduziu de forma significativa a poluição da água, ar e solo (LEMOS, 1998), por meio de ações de prevenção e controle de emissão de poluentes, incentivos para financiamentos de tecnologias mais limpas e alteração de procedimentos de operação industrial e educação ambiental. O programa resultou na redução de 98,8% de MP₁₀ na região, entre 1980 e 2008 (CETESB, 1994).

Tais medidas caracterizaram marcos iniciais de políticas públicas, por meio da execução de ações custo-efetivas no gerenciamento da qualidade do ar no estado de São Paulo, que, além de seus marcos regulatórios de prevenção e controle da poluição, em relação às fontes fixas, também foi influenciado por programas de controle de emissão veicular instituídos no âmbito do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama). O Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) foi instituído em 1986 (BRASIL, 1986) e o Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares (PROMOT), em 2003 (BRASIL, 2002).

Entretanto, com o aumento da população das regiões metropolitanas e da frota de veículos, a contribuição para a emissão de poluentes originadas por fontes móveis tornou-se mais relevante que das fontes fixas, representadas por indústrias, como ocorre na RMSP (CETESB, 2018), área foco deste estudo.

Acompanhando o crescimento dos problemas de exposição da população aos poluentes atmosféricos, as regulações do estado de São Paulo, desde o Decreto de 1976, até o momento, também foram intensificadas visando promover a redução ou eliminação de poluentes, conforme promulgação do Decreto nº 59.113/2013, vigente, que revisou os padrões de qualidade do ar em São Paulo e criou novos instrumentos de prevenção e controle da poluição (SÃO PAULO, estado, 2013).

Hoje, considerando a reduzida participação das fontes fixas na emissão de poluentes atmosféricos, a definição de estratégias e planos de redução de emissões para esse tipo de fonte tornou-se um desafio, pois podem significar alto custo de modificação de parques industriais, que não necessariamente impactarão na melhoria da qualidade do ar, devido à baixa relevância das emissões.

Altos custos desnecessários e restrições de atividades industriais em regiões com grande quantidade de poluentes, como as urbanas, sem garantias de resultados positivos em relação à melhoria da qualidade do ar, podem inviabilizar ampliações de plantas, gerar inseguranças jurídicas, de forma a prejudicar uma importante atividade econômica para o estado de São Paulo.

Portanto, ações relacionadas a setores industriais, como a adoção de Melhores Tecnologias Disponíveis / Melhores Práticas Ambientais (do inglês BAT/BEP) necessitam da determinação de viabilidade de implantação, além da justificativa da exigência, desde que de fato tenha representatividade para a melhoria da qualidade do ar, assim como já demonstrado em países e regiões líderes, com longa experiência no gerenciamento da qualidade do ar (KUKLINSKA, 2015), como EUA e União Europeia.

Nessas regiões há realização de análises de impacto ambiental para as políticas públicas e para a instalação de tecnologias e técnicas sistematicamente.

Nos EUA, além da consideração da análise de custo-efetividade de políticas públicas de qualidade do ar, prevista pelo *Clean Air Act* (USEPA, 1977), a USEPA também possui uma série de publicações referentes a custos de abatimento de poluentes por tipo de tecnologia e práticas adotadas, para a redução ou eliminação de emissões, websites dedicado a esse tipo de informação e programas com modelagens neste sentido.

Na União Europeia, dentre as medidas para a “Prevenção e Controle Integrados da Poluição” (do inglês, *Integrated Pollution Prevention and Control*, IPPC) definidas pela Diretiva nº 96/61/EC (EUR-LEX, 1996) e posteriormente a Diretiva nº 2010/75/EC (EUR-LEX, 2010), destaca-se a elaboração de Guias de Referência contendo Melhores Tecnologias Disponíveis, que contemplam documento específico de análise de viabilidade técnica e econômica, além de *website* dedicado ao tema e utilização de programas de modelagens de análises integradas.

Diferentemente desses exemplos internacionais, no Brasil ainda não há procedimentos para determinação de custo-efetividade de estratégias e ações voltadas para políticas de qualidade do ar, bem como para a adoção de BAT/BEP em processos industriais.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAIS

- a) indicar elementos que possam compor métodos de avaliação de BAT/BEP na Região Metropolitana de São Paulo - RMSP, no que couber às fontes fixas, considerando o atendimento aos padrões de qualidade do ar, para o parâmetro MP_{10} ;
- b) indicar elementos que possam compor a análise crítica quanto à eficácia de políticas públicas para a gestão da qualidade do ar.

2.2 ESPECÍFICOS

- a) indicar elementos utilizados em metodologias para análise de viabilidade técnica e econômica empregados nos EUA e União Europeia, aplicados a projetos de implantação de BAT/BEP, para a prevenção ou redução da emissão de material particulado inalável (MP_{10}), provenientes de fontes fixas;
- b) comparar os principais instrumentos que compõem as políticas públicas de qualidade do ar nos EUA, União Europeia e Brasil;
- c) avaliar a coerência das medidas propostas por meio de exigências legais e infra legais existentes, para a prevenção ou redução da emissão de MP_{10} na RMSP.

3 MÉTODO

3.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

De acordo com Gil (2017), as pesquisas são originadas a partir de indagações e questionamentos caracterizados como problema, conforme definição de problema no dicionário Houaiss da Língua Portuguesa:

[...] Assunto controverso, ainda não satisfatoriamente respondido em qualquer campo do conhecimento, e que pode ser objeto de pesquisas científicas ou discussões acadêmicas. [...]
Gil (2017, p.7)

A formulação do problema deste trabalho, qual seja a ausência de metodologias para análise de viabilidade técnica e econômica para implantação de BAT/BEP, em especial para MP₁₀ na Região Metropolitana de São Paulo, foi proveniente de relatos de responsáveis por fontes fixas em indústrias, membros do Grupo de Trabalho de Emissões Atmosféricas (GT-Emissões) da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo.

Durante reuniões realizadas para interpretação do Decreto Estadual nº 59.113/2013, que dispõe sobre novos PQAs e do Plano de Redução de Fontes Estacionárias (CETESB, 2014), notaram-se dúvidas recorrentes quanto ao embasamento técnico e efetividade do estabelecimento de exigências desses documentos.

Dentre as exigências mais questionadas, destacaram-se a obrigação de adoção de Melhores Tecnologias Práticas Disponíveis (MTPD) e práticas ambientais, chamadas de BAT/BEP neste estudo, bem como de redução da emissão de MP, por fontes fixas, na RMSP, em 4,8%, o que resultou nas seguintes perguntas de pesquisa:

- a) quais são os elementos necessários para realizar a análise de viabilidade técnica e econômica de implantação de BAT/BEP em plantas industriais, visando ao abatimento de MP₁₀, de forma que auxiliem na obtenção de

informações que subsidiarão a tomada de decisão, por parte do administrador da qualidade do ar e do gerador do poluente?

- b) se já há atendimento aos limites de emissão existentes para os poluentes gerados nas fontes fixas de uma determinada planta industrial, qual deveria ser o embasamento técnico, frente a uma estratégia fundamentada do administrador da qualidade do ar, para determinar a exigência de implementação de BAT/BEP, em fontes fixas geradoras de MP_{10} ?
- c) quais são os elementos que deveriam compor análises críticas de medidas adotadas em políticas públicas, de forma a não haver esforços com ações que pouco alterarão a qualidade do ar e sim na execução de medidas que de fato reduzam a concentração de poluentes na atmosfera?

3.2 PRESSUPOSTOS

As indagações identificadas levaram ao levantamento de pressupostos, considerados como explicações provisórias do problema, de forma a serem verificados ao longo do desenvolvimento deste trabalho:

- a) a simples redução da emissão de poluente de uma fonte fixa não garante a melhoria da qualidade do ar, pois é influenciada por diferentes variáveis, o que requer estudos complexos para a realização do planejamento de ações de políticas públicas neste sentido;
- b) as diretrizes para a implantação de medidas para a melhoria da qualidade do ar, para MP_{10} na RMSP, não foram embasadas em estratégias que levaram em consideração todos os fatores intervenientes, juntamente com o custo-efetividade das ações propostas;
- c) a adoção de medidas nas plantas industriais implica em custos, que necessitam ser justificados, principalmente quanto aos resultados efetivos que o investimento trará frente à melhoria da qualidade do ar.

3.3 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Em vista da ausência de orientações para realização de análise de viabilidade técnica e econômica de adoção de BAT/BEP para fontes fixa na RMSP e também de elementos claros utilizados para a elaboração de políticas públicas, que visem ações custo-efetivas de melhoria da qualidade do ar, o presente trabalho buscou “proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torna-lo mais explícito” (GIL, 2017), de forma a realizar a pesquisa em caráter exploratório.

3.4 PROCEDIMENTOS

Para o atendimento dos objetivos propostos pelo trabalho, realizou-se revisão bibliográfica e documental, por meio de artigos científicos, teses e documentos oficiais de órgãos relacionados à administração da qualidade do ar nos Estados Unidos da América, União Europeia e Brasil.

3.4.1 Revisão bibliográfica

A busca sistematizada de artigos científicos e teses foi realizada no *website* do Sistema Integrado de Bibliotecas Universidade de São Paulo (SIBi), em seu “Portal de Busca Integrada”, utilizando as seguintes bases de dados: *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science* e “*Google Acadêmico*”.

Nas buscas realizadas, foram empregados os seguintes termos e palavras-chave: *air quality, policy, air pollution, particulate matter, integrated assessment modeling, air quality standard, technical and economic feasibility, cost-effectiveness, cost-benefit*, PM₁₀, BAT, BEP.

As palavras-chave foram combinadas entre si, de acordo com o tema a ser estudado: política pública para qualidade do ar, comportamento do poluente MP₁₀ na

atmosfera, procedimentos para análises de viabilidade técnica e econômica de implementação da BAT/BEP, análise de custo-efetividade e custo-benefício.

Mediante ao grande número de artigos resultantes das buscas, foi necessário adotar critérios de seleção que consideraram:

- a) período de 2009 a 2019;
- b) regiões de estudo (Estados Unidos da América, União Europeia e Brasil);
- c) número de revisões do artigo;
- d) relevância proposta pelo banco de dados do SIBi;
- e) leitura inicial do resumo.

Foram selecionados 56 artigos científicos, utilizados como fonte de pesquisa para atendimento dos objetivos propostos por este trabalho.

3.4.2 Revisão Documental

Em relação à documentação oficial de governos, referentes à qualidade do ar, realizaram-se buscas diretamente nos *websites* de entidades nacionais e internacionais, que publicam informações de credibilidade. Dentre as entidades consultadas, destacam-se organizações que publicam dados de saúde e meio ambiente, órgãos ambientais e bancos de dados legislativos dos Estados Unidos da América, União Europeia, Brasil e São Paulo (estado e município).

3.4.2.1 Documentos internacionais

A análise das recomendações de concentrações máximas de poluentes na atmosfera, que ofereçam baixo risco à saúde, bem como de dados sobre a situação da qualidade do ar no mundo e também de procedimentos para a gestão da qualidade do ar, foi realizada por meio de publicações obtidas diretamente no *website* da Organização Mundial da Saúde (OMS).

Fonte de projeções futuras, dados sobre a situação da qualidade do ar internacionalmente e comparativos de BAT/BEP foram consultados por meio de relatórios publicados no *website* da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE).

3.4.2.2 Documentos dos Estados Unidos da América

Os dados sobre a situação da qualidade do ar americana, para MP₁₀, foram analisados por meio do *website* da agência ambiental americana (USEPA).

No mesmo *website* da USEPA, também foi possível identificar bancos de dados e procedimentos que descrevem as metodologias utilizadas para a análise de custo-efetividade e custo-benefício das medidas implementadas no país, de acordo com as diretrizes do *Clean Air Act* e também para os responsáveis por fontes fixas realizarem análise de viabilidade técnica e econômica de implementação de BAT/BEP.

As legislações americanas foram acessadas diretamente no *website*, específico para o tema, do governo federal.

3.4.2.3 Documentos da União Europeia

Os dados sobre qualidade do ar da União Europeia foram obtidos por meio dos Relatórios de Qualidade do Ar publicados anualmente no *website* da agência ambiental, que também apresentou relatórios de análises críticas das ações implementadas e das revisões de políticas públicas.

As legislações da região foram acessadas por meio de *website* de normas legais europeias e do programa da agência ambiental denominado de *Integrated Pollution Prevention Control* (IPPC), que contém guias de BAT/BEP para gestão de

emissões atmosféricas e de diretrizes para a realização de análise de viabilidade técnica e econômica de sua implementação.

3.4.2.4 Documentos do Brasil e São Paulo

As legislações federais que contribuíram com o trabalho foram acessadas por meio do *website* do Conama e Casa Civil, majoritariamente. No estado de São Paulo, as normas legais foram consultadas por meio da Assembleia Legislativa (Alesp) e da cidade de São Paulo, diretamente no *website* da prefeitura.

No *website* da Cetesb foi possível obter informações referentes à BAT/BEP recomendadas para fontes fixas, bem como da situação da qualidade do ar na RMSP, origem do MP₁₀, que constam em Relatórios de Qualidade do Ar publicados anualmente pela companhia ambiental.

O entendimento da concepção da meta de redução de MP na RMSP ocorreu por meio da consulta ao PREFE-2014, disponibilizado no website da Cetesb, que também contém o Plano de Controle de Poluição Veicular (PCPV), utilizado para analisar a relevância das emissões de fontes móveis na RMSP.

3.4.3 Comparações

Ao se estudar artigos e documentos referentes aos objetivos deste trabalho, foram identificados elementos que compõem cada sistema de gestão da qualidade do ar dos EUA, União Europeia e RMSP.

Desta forma, a comparação entre as informações identificadas ocorreu considerando a existência ou não de cada elemento, entre as três regiões e nas formas de concepção e análise crítica de políticas públicas de qualidade do ar e diretrizes para a realização de análise de viabilidade técnica e econômica de implementação de BAT/BEP.

3.5 ETAPAS

Mediante as perguntas a serem respondidas pela pesquisa e cumprimento de seus objetivos, as etapas desenvolvidas no trabalho foram:

- a) apontar as questões prementes que demandam a melhoria da qualidade do ar;
- b) verificar o que se considera como estado da arte frente à gestão da qualidade do ar em políticas públicas, para planejamento e controle de emissão de fontes fixas e móveis nas regiões de referência estudadas, EUA e União Europeia;
- c) estudar normas legais e infra legais, que preconizam medidas para a gestão da qualidade do ar, em especial quanto aos aspectos afetos às fontes fixas industriais nos EUA, União Europeia e RMSP;
- d) apontar os diferentes conceitos adotados em relação à BAT/BEP nos países em estudo;
- e) estudar procedimentos que auxiliam a tomada de decisão, ao se adotar elementos que considerem a análise de viabilidade técnica e econômica para a implantação de BAT/BEP e para a concepção de custo-efetividade de políticas públicas da qualidade do ar nos EUA e União Europeia;
- f) realizar análise crítica das informações estudadas e indicadas no Referencial Teórico deste trabalho, de forma comparativa com o sistema de gestão da qualidade do ar da RMSP, em especial quanto aos elementos que possam compor análises de viabilidade técnica e econômica de BAT/ BEP para MP₁₀ e de elementos que poderiam ser utilizados em políticas públicas.

Quadro 1 - Frota circulante no estado de São Paulo em 2016.

Categoria	Combustível	Estado de São Paulo	Macro-metrópole	Município de São Paulo	RMSP	RMC	RMBS	RMVP	RMSO	RMRP
Automóveis	Gasolina C	3.153.818	2.517.815	1.123.667	1.737.654	238.735	75.698	147.644	132.959	92.13
	Etanol	258.559	166.386	71.130	107.020	18.723	2.849	10.491	10.716	14.156
	Flex-fuel	6.789.983	5.295.105	2.147.287	3.408.601	585.590	220.244	339.512	312.065	247.635
Comerciais Leves	Gasolina C	583.430	480.510	237.681	337.421	43.781	17.215	26.129	22.220	17.578
	Etanol	25.103	15.688	6.367	9.577	1.767	411	1.026	1.109	1.602
	Flex-fuel	949.552	684.639	264.376	415.113	82.671	24.402	46.056	47.028	41.189
	Diesel	413.733	290.136	119.757	185.679	31.834	8.525	18.306	17.928	19.368
Caminhões	Semi leves	36.022	24.386	7.035	14.118	2.843	1.150	1.476	1.915	1.720
	Leves	114.577	77.327	22.499	44.814	9.116	3.619	4.554	6.044	5.557
	Médios	65.931	44.699	12.936	25.909	5.190	2.101	2.676	3.510	3.155
	Semipesados	113.330	76.987	22.738	44.969	9.254	3.527	4.369	5.847	5.515
	Pesados	118.826	80.509	23.694	46.920	9.738	3.699	4.523	6.150	5.786
Ônibus	Urbanos	63.817	49.941	20.304	33.776	5.428	1.777	2.923	2.587	2.061
	Macro-ônibus	14.393	11.393	4.572	7.704	1.245	404	688	580	439
	Rodoviários	28.604	21.921	9.026	14.874	2.339	768	1.260	1.144	983
Motocicletas	Gasolina C	1.968.248	1.341.128	427.123	738.136	143.424	101.264	106.292	105.331	88.160
	Flex-fuel	597.269	343.958	77.560	143.907	44.551	37.834	37.191	32.655	40.855
Total		15.295.196	11.522.527	4.597.754	7.316.193	1.236.227	505.487	755.115	709.789	587.972

Notas: RMSP- Região Metropolitana de São Paulo; RMC- Região Metropolitana de Campinas; RMBS- Região Metropolitana da Baixada Santista; RMVP- Região Metropolitana do vale do Paraíba; RMSO- Região Metropolitana de Sorocaba; RMRP- Região Metropolitana de Ribeirão Preto.

Extraído de: (Cetesb, 2017a, adaptado).

O parque industrial é composto majoritariamente por indústrias de transformação, que geram aproximadamente 690 mil postos de trabalho diretos em 36.458 plantas (FIESP, sd). Ao longo de dez anos, de 2007 a 2017, destaca-se a redução da quantidade de estabelecimentos médios em 23% e grandes em 28%, conforme Quadro 2.

Quadro 2- Caracterização de indústrias na RMSP por número de estabelecimentos.

Ano	Indústrias Extrativas					Indústrias de Transformação				TOTAIS
Porte	Micro	Pequena	Média	Grande	Total	Micro	Pequena	Média	Grande	Total
2007	454	61	7	0	522	64.448	7.363	1.592	241	73.644
2017	65	83	8	0	156	23.191	11.865	1.228	174	36.458

Extraído de: FIESP (sd).

4 REFERENCIAL TEÓRICO-PRÁTICO

Os processos de concepção e implementação de políticas públicas de qualidade do ar demonstram-se complexos, pois devem considerar, não somente as características toxicológicas dos poluentes atmosféricos, mas também o comportamento desuniforme em decorrência de fenômenos atmosféricos em diferentes escalas espaciais (KANDLIKAR, 2007; MIRANDA et al., 2015). Além dos aspectos, segundo van den Hove (2000), que são intrínsecos à vida da sociedade moderna e transversais a outras áreas políticas, não se atendo somente a questões ambientais e de saúde, tais como: transporte, produção industrial, agricultura, lazer, consumo, ciência, tecnologia.

4.1 MATERIAL PARTICULADO

O poluente objeto do estudo é constituído de materiais orgânicos e inorgânicos, com características intrínsecas às atividades que deram origem à sua geração, como queima de combustível, tráfego, processos mecânicos que desprendem partículas, reações químicas secundárias, que ocorrem na atmosfera (SCHANTZ, 2016) ou mesmo proveniente de fontes naturais como bancos de areia e salinidade do mar.

Segundo Kim et al. (2015), “a presença de material particulado causa mais danos à saúde do que o ozônio troposférico ou outro poluente comum, como monóxido de carbono”, não somente por sua característica aerodinâmica, que causa danos aos alvéolos pulmonares, mas também devido à heterogeneidade de sua composição química, que se divide em materiais inorgânicos, como sulfatos, nitratos, carbonáceos, metais (ex: cobre, níquel, zinco) e orgânicos, como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos.

As partículas, em geral, possuem formas irregulares, porém para efeitos de medição, pelo método Cunningham, entende-se que são facilmente transportadas

internamente pelas vias aéreas, portanto consideradas como esferas. Assim, adota-se que seu diâmetro aerodinâmico equivale a uma esfera de densidade unitária ($d = 1\text{g/cm}^3$), que tem a mesma velocidade terminal da partícula em estudo (FINLAYSON-PITTS e PITTS JR., 2000).

Partículas com diâmetro entre $2,5\text{-}10\mu\text{m}$ geralmente atingem o trato respiratório superior, já partículas com diâmetro menor que $2,5\mu\text{m}$, consideradas finas ($\text{MP}_{2,5}$), podem atingir os alvéolos pulmonares (YNOUE, 2011).

Em São Paulo, a concentração de MP na atmosfera é medida por meio de estações de monitoramento automáticas e manuais distribuídas geoespacialmente no estado e operadas pela Cetesb. Anualmente, esta companhia pública relatório de qualidade do ar, contendo dados referentes ao monitoramento realizado.

As medições de parâmetros que indicam a qualidade do ar para MP_{10} são reportadas de forma “anual” ou “diária”, por meio de sua concentração (massa/volume), geralmente apresentada com a unidade de micrograma por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Os estudos realizados neste trabalho foram referentes ao MP_{10} , mesmo as fontes fixas industriais não sendo responsáveis pela maior parcela da concentração de MP_{10} na RMSP, conforme estudos de qualidade do ar da Cetesb (Cetesb, 2018). Trata-se de poluente considerado de maior preocupação para a saúde pública (OCDE, 2012; OMS, 2016), devido a sua ação direta em vias pulmonares bem como sua composição química diversa.

Segundo relatório do grupo de trabalho sobre a situação do material particulado da União Europeia de 2004, frente a sua política de qualidade do ar (EC, 2004), os diferentes MP_{10} , nessa região, são originados principalmente pelas fontes indicadas no Quadro 3, incluindo: fontes móveis, poeira de estradas, combustões, atividades industriais, emissões fugitivas e outras.

De acordo com os dados das parcelas correspondentes aos tamanhos de materiais particulados emitidos pelas atividades indicadas no Quadro 3, nota-se que a fração majoritária de tamanho de partícula, que corresponde às indústrias, é referente ao MP_{10} , sendo metade composta por $\text{MP}_{2,5}$.

Diferentemente das emissões industriais, as atividades relacionadas às fontes móveis geram 100% de $MP_{1,0}$, o que indica a importância de caracterização dos poluentes presentes na atmosfera, bem como sua origem, de forma mais completa possível, para que medidas diferenciadas e assim, mais assertivas, possam ser consideradas na concepção de políticas públicas.

Quadro 3- Ordem de magnitude da contribuição típica de fontes de emissão em relação a material particulado.

Fonte	MP_{10}	$MP_{2,5}$	$MP_{1,0}$	$MP_{0,1}$
Tráfego-exaustão	100	100	100	50
Poeira de estrada	100	10	1	0
Areia do vento	100	10	1	0
Combustão	100	100	100	50
Indústria-MP primário	100	50	5	1
Indústria-MP secundário	100	100	100	50
Emissões fugitivas	100	10	1	0
Pedreiras	100	10	2	1
Agricultura ¹	100	10	2	1
Poeira da África	100	20	5	0
Aerossol marinho	100	20	2	0
Fontes biogênicas ¹	100	10	2	1

Nota 1: as frações granulométricas da massa das partículas ambientais foram ajustadas para 100, quando a massa do MP resultante está totalmente dentro do intervalo definido pela definição de MP_x , ou seja, a massa de partículas com tamanho menor ou igual a X. Menos de 100 é uma indicação grosseira da fração relativa das emissões de MP da fração dada.

Nota 2: (1)- incluindo emissões primárias e secundárias.

Extraído de: EC (2004).

4.2 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

Segundo Andrade et al. (2017) padrões de qualidade do ar “são objetivos que devem ser alcançados por meio de estratégias de controle definidas por padrões de

emissão e devem servir como guias para a criação de planos regionais de poluição do ar”, definição em linha com o que preconiza a OMS (2006), de forma mais abrangente, em seu “Guia de Qualidade do Ar- 2005”:

[...] Padrões de qualidade do ar são um instrumento importante de gestão de riscos e política ambiental, e devem ser definidos por cada país para proteger a saúde de seus cidadãos. Os padrões estabelecidos em cada país serão variados de acordo com abordagens específicas para equilibrar riscos à saúde, viabilidade, considerações econômicas e outros fatores políticos e sociais. Esta variabilidade dependerá do nível de desenvolvimento do país, da capacidade de gestão de qualidade e outros fatores [...].
(OMS, 2006).

Em seu guia publicado em 2006, a OMS reuniu estudos científicos de caráter epidemiológico e toxicológico, de forma a recomendar valores-guia de qualidade do ar, como item a ser observado na concepção de políticas públicas pelos governantes, que devem considerar cuidadosamente suas circunstâncias locais, antes de adotar os valores-guia como requisitos legais.

Nos EUA, o *Clean Air Act* estabelece PQA da seguinte forma:

“[...] define a quantidade média máxima de um poluente ao longo de um período de tempo especificado, que pode estar presente em ambientes externos sem prejudicar a saúde pública e, portanto, define o ar limpo.”
(USEPA, 1977).

Neste contexto, a União Europeia define o PQA como “compromissos políticos, que além de levar em consideração a proteção à saúde, também incluem o que é economicamente viável”. Portanto, define seus PQAs de acordo com seus estudos científicos e análises de viabilidade de adoção dos valores, não deixando de analisar os resultados das medições de qualidade do ar também em comparação às recomendações da OMS, conforme descrito em seus relatórios (EC, 2005).

No Brasil, o PQA é definido pela Resolução Conama nº491/ 2018 como:

“[...] um dos instrumentos de gestão da qualidade do ar, determinado como valor de concentração de um poluente específico na atmosfera, associado a um intervalo de tempo de exposição, para que o meio ambiente e a saúde da população sejam preservados em relação aos riscos de danos causados pela poluição atmosférica.”
(BRASIL, 2018).

Verifica-se que as definições das três regiões são semelhantes e deixam claras, assim como preconizado pela OMS, que o limite legal é estabelecido no âmbito do país ou seus estados, regiões, sempre prezando pela proteção à saúde e no caso da definição dos EUA e Brasil, também pelo meio ambiente. É considerado um dos instrumentos para a gestão da qualidade do ar, que juntamente com outros elementos, direcionam estratégias utilizadas em planos de qualidade do ar (USEPA, 1977; BRASIL, 1989).

4.3 CUSTO-EFETIVIDADE E CUSTO-BENEFÍCIO

Estudos realizados sobre a forma de concepção e aplicação de custo-efetividade e custo-benefício, como instrumentos para auxílio na gestão da qualidade do ar, indicaram a abordagem de aspectos ou variáveis aplicadas para diferentes situações em macro e microeconomia.

De acordo com Amann et al. (2011), o que define o custo-efetividade é a necessidade de entendimento do cenário em que se encontra a qualidade do ar, para assim tomar decisões fundamentadas, trazendo salvaguardas ao meio ambiente, considerando também o fator econômico:

“[...] o custo-efetividade representa estratégias de consideração da relação de causa e efeito com múltiplos poluentes, com múltiplos efeitos e como se interconectam com cada um. Neste contexto, tomadores de decisão informados, poderiam desenvolver estratégias para maximizar as sinergias entre diferentes medidas de salvaguarda para melhorias ambientais para todos os aspectos relevantes, enquanto minimizam o uso de recursos econômicos para a implementação.” (AMANN et al., 2011).

Para Silva (2003), a análise de custo-efetividade é definida da seguinte forma:

“[...] é uma avaliação microeconômica, constituindo uma análise comparativa de cursos alternativos de ação tanto em termos de custos como de consequências: a diferença de custos (custo incremental) é comparada com a diferença de consequências na forma de razão entre a diferença de custos e a diferença de consequências.”

(SILVA, 2003).

Conforme o *International Prevention and Pollution Control*, programa da agência ambiental europeia, o custo-efetividade considera o “maior valor (ganhos ambientais) que se pode obter para o dinheiro (custos)”.

Para Ciucci et al. (2014), o custo-efetividade é uma medida presente nas análises críticas de ações previstas para serem realizadas em programas e planos de qualidade do ar, sendo uma base para a tomada de decisão quanto à devida majoração e definição de medidas pelo tomador de decisão, levando-se em conta, no caso da poluição do ar, a melhoria da qualidade do ar.

Em relação ao custo-benefício, considerando-se os programas e planos de gestão da qualidade do ar, os benefícios são considerados quando há ganhos para a saúde e meio ambiente, como a redução de custos com tratamentos de doenças causadas por exposição a poluentes, aumento do bem-estar, redução das faltas ao trabalho, devido a problemas de saúde e outros.

Segundo Astrom (2017) o custo-benefício foca nas benesses que uma política pode trazer à sociedade:

“[...] presume-se que a demanda por qualidade ambiental e saúde humana depende do custo de satisfazer a demanda e que cada melhoria incremental vale mais a pena do que a anterior.”
(ASTROM, 2017).

Para Pervin et al. (2008), mediante definição de cálculo de custo, considerado como externalidades, o custo-benefício divide-se em três: direto (custos referentes aos cuidados à saúde), indireto (produtividade e perda de produção) e intangível (dores, sofrimento).

Em sua análise do custo-efetividade e custo-benefício, descrita em relatório sobre os impactos das emendas ao *Clean Air Act* (CAA) de 1990 e estimativa em 2020, a USEPA (2011) realizou análise de custo-benefício de acordo com o que Pervin et. al (2008) definiram.

O relatório descreve os custos com gastos de internações e procedimentos médicos em hospitais americanos, devido às doenças associadas à exposição de poluentes, também realizaram levantamentos do custo da ausência do trabalhador em seu posto de trabalho, devido às doenças respiratórias associadas à poluição do ar e também estimaram o “valor da vida estatística”, (do inglês *Value of Statistical Life*, VSL).

Segundo USEPA (2011), o VSL foi calculado por meio da estimativa do valor financeiro, que pessoas falecidas, antes de atingirem o tempo de vida médio do americano, deixaram de gerar, tendo como base salários médios anuais do país. Segundo a USEPA, há ressalvas quanto às incertezas que possam ser incorporadas por esses dados, devido às variáveis intangíveis de reflexo na saúde humana e também da valoração dada ao salário, que não necessariamente representa o que de fato se gerava.

4.4 HISTÓRICO DE LEGISLAÇÕES FEDERAIS

4.4.1 Marcos legais dos EUA e União Europeia

As ações de controle e planejamento estratégico das regiões em estudo possuem diferentes datas de marco legal.

Nos EUA, datam de 1963, por meio do *Clean Air Act* - CAA, com a definição dos padrões de qualidade do ar do ambiente nacional (do inglês, *National Ambient Air Quality Standards*, NAAQS), com inclusão do poluente MP em 1970, por meio de emendas ao CAA (USEPA, 1977).

Na União Europeia, o primeiro marco legal, referente às emissões atmosféricas, data de 1970, por meio da Diretiva nº 70/220/EC, que tratava de

limites de emissão de veículos motores (EUR-LEX, 1970). Já os primeiros PQAs foram preconizados por meio da Diretiva nº96/ 62/ EC, em 1996.

4.4.2 Marcos legais do Brasil

No Brasil, após a promulgação da Portaria MINTER nº231/ 1976, em âmbito nacional, sobre padrões de qualidade do ar, São Paulo editou a Lei nº 997/1976 e seu Decreto regulamentador nº 8.468/1976, sobre a prevenção e controle da poluição (SÃO PAULO, estado, 1976), que também contemplava PQA.

Em 1981, foi instituído o Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) no Brasil, órgão que constitui o Sistema Nacional do Meio Ambiente, por meio da Política Nacional de Meio Ambiente, Lei nº6938/ 1981, com a finalidade de:

“[...] assessorar, estudar e propor ao Conselho de Governo, diretrizes de políticas governamentais para o meio ambiente e os recursos naturais e deliberar, no âmbito de sua competência, sobre normas e padrões compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado e essencial à sadia qualidade de vida”.

(BRASIL, 1981).

De acordo com Mendes (2004), nesse período de criação do Conama, as discussões sobre a necessidade de redução da poluição veicular e estudos sobre estratégias para alcançá-la já estavam em discussão desde 1977, levando à criação do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores PROCONVE em 1986. O programa visava à redução de emissões diretamente no escapamento de veículos e também modernização da tecnologia automotiva, para redução ou eliminação de poluentes atmosféricos, assim como já se praticava na União Europeia, à época.

Desta forma, a Resolução Conama nº 18/1986, que criou o PROCONVE, fixou limites máximos de emissão e exigências tecnológicas para veículos automotores, nacionais e importados, com prazos gradativos de adoção das metas de redução de poluentes, definidas por meio da Lei Federal nº 8.723/1983, em relação a monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos (HC), material particulado (MP), aldeídos (CHO), óxidos de enxofre (SO_x) e compostos de chumbo (Pb), sendo esses retirados da gasolina em 1989 (IBAMA, 2018).

Desde a sua criação, o PROCONVE passou por revisões e avanços das chamadas “fases”, com limites de emissão mais restritivos e exigência de adoção de novas tecnologias para eliminação de emissões, tanto para veículos leves, quanto para pesados. Hoje, estão vigentes as Resoluções Conama nº490/ 2018, para veículos pesados e nº492/ 2018 para veículos leves.

Considerando a relevância de emissão de poluentes, identificadas também nos motocicletos (IBAMA, 2018), em 2003 foi criado o Programa de Controle da Poluição do Ar para Motociclos e Veículos Similares – PROMOT, fundamentado nas legislações vigentes na Europa, Diretiva nº 97/24/EC, sendo que os primeiros limites propostos, para vigorar a partir de 2003, foram publicados por meio da Resolução Conama nº 297/2002 e posteriormente complementada pela Instrução Normativa IBAMA nº17/2002, sobre homologação e certificação de veículos.

O PROMOT passou por revisões nos anos de 2006, 2009 e 2014 (SLOVIC e RIBEIRO, 2018) e 2019, com diretrizes referentes à “Fase M5”, aprovadas em plenária do Conama e publicadas de acordo com a Resolução Conama nº493/2019.

Segundo o Ibama (2018), com a implantação das ações do PROCONVE, desde 1986, hoje a geração de poluentes de origem veicular é 90% menor, com destaque à redução de Monóxido de Carbono na RMSP, de 60%.

4.4.2.1 Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar

Seguindo a linha do tempo, em relação às normas sobre qualidade do ar, que abrangem o poluente em estudo, MP₁₀, em 1989, a Resolução Conama nº05/1989, vigente até o momento, criou o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR), estabelecendo “Estratégias e Instrumentos” de gestão ambiental para proteção da saúde e bem-estar das populações, “com o objetivo de permitir o desenvolvimento econômico e social do País de forma ambientalmente segura, pela limitação dos níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica” (BRASIL, 1989).

Neste sentido, foram definidas as linhas de ação, para consolidação das Estratégias e Instrumentos da Resolução Conama nº 05/1989:

a) estratégias:

- limites máximos de emissão;
- adoção de padrões nacionais de qualidade do ar;
- prevenção de deterioração significativa da qualidade do ar;
- monitoramento da qualidade do ar;
- gerenciamento do licenciamento de fontes de poluição do ar;
- inventário nacional de fontes e poluentes do ar;
- desenvolvimento nacional na área de poluição do ar;
- ações de curto, médio e longo prazo.

b) instrumentos:

- limites máximos de emissão;
- padrões de qualidade do ar;
- PROCONVE;
- PRONACOP- Programa Nacional de Controle da Poluição Industrial;

- Programa Nacional de Avaliação da Qualidade do Ar:
 - i. Programa Nacional de Inventário de Fontes Poluidoras do Ar;
 - ii. Programas Estaduais de Controle da Poluição do Ar.

Como uma ação complementar ao PRONAR, em 1990, a Resolução Conama nº03 estabeleceu PQAs para alguns poluentes atmosféricos (Material Particulado- MP₁₀, Dióxido de Enxofre- SO₂, Dióxido de Nitrogênio- NO₂, Partículas Totais em Suspensão- PTS, Fumaça, Monóxido de Carbono- CO) e níveis de qualidade do ar para elaboração de Plano de Emergência em casos de episódios críticos de poluição do ar. Em 2018, a Resolução Conama nº03/ 1990 foi revogada e substituída pela Resolução Conama nº491/ 2018 (BRASIL, 2018).

Em continuidade a implementação de estratégias preconizadas pelo PRONAR, em 2009 foram definidos limites de emissão para fontes fixas instaladas a partir de 2007, preconizados pela Resolução Conama nº382 e complementados pela Resolução nº436/ 2011.

Mediante a criação de um processo de revisão de norma do Conama, em 2013 iniciaram-se os trabalhos de revisão da Resolução Conama nº03/ 1990, justificados, principalmente, pela atualização dos PQAs recomendados pela OMS, de acordo com seu Guia publicado em 2006.

Após cinco anos de debates técnicos, 21 reuniões de câmaras técnicas, de grupo de trabalho, além de um seminário internacional realizado, a revisão foi finalizada, em linha com as diretrizes da OMS (2006), que recomenda o estabelecimento de novos PQAs de forma que sua implementação seja exequível, aderentes à realidade do país, com possibilidade de migração gradativa para PQAs mais restritivos, a medida em que avaliações embasadas em inventários de emissão, modelagens e análises de viabilidade, sejam realizadas, conferindo transparência para o processo de atendimento aos padrões, bem como, garantindo segurança jurídica.

Tal processo resultou na Resolução Conama nº491/ 2018, que apresenta as novas diretrizes para a gestão da qualidade do ar em âmbito nacional (BRASIL, 2018):

- a) adoção dos valores guia de qualidade do ar da OMS, como padrão de qualidade do ar (Quadro 4);
- b) inclusão de novos poluentes com padrões de qualidade do ar: $MP_{2,5}$ e chumbo;
- c) inclusão de concentrações de $MP_{2,5}$, para determinação de episódios críticos de poluição do ar;
- d) obrigatoriedade do Ministério do Meio Ambiente e órgãos ambientais estaduais e distrital de divulgar, em página da internet, dados de monitoramento e informações relacionados à gestão da qualidade do ar;
- e) padronização da divulgação de informações sobre a qualidade do ar, pelos órgãos ambientais estaduais, por meio do Índice de Qualidade do Ar proposto em seu anexo;
- f) obrigatoriedade dos órgãos ambientais estaduais e distrital de elaboração de Plano para Episódios Críticos de Poluição do Ar;
- g) definição de prazos:
 - 2023: avaliação da situação da qualidade do ar nos estados para tomada de decisão quanto à possibilidade de migração da 1ª etapa de padrões intermediários para padrões mais restritivos;
 - anualmente: publicação de Relatório de Avaliação da Qualidade do Ar pelos órgãos ambientais estaduais e distrital;
 - 2021: elaboração de Plano de Controle Estadual de Emissões Atmosféricas pelos órgãos ambientais estaduais e distrital;
 - cada três anos: elaboração de relatório de acompanhamento do Plano de Controle Estadual de Emissões;

- novembro/ 2019: elaboração de Guia Técnico para Monitoramento da Qualidade do Ar pelo Ministério do Meio Ambiente.

Quadro 4- Padrões de qualidade do ar nacionais, intermediários e final, de acordo com a Resolução Conama nº491/ 2018.

Padrão/ Poluente	CO	SO ₂		MP ₁₀		MP _{2,5}		FMC		PTS		Pb ¹	NO ₂		O ₃
	(ppm)	(µg.m ⁻³)		(µg.m ⁻³)		(µg.m ⁻³)		(µg.m ⁻³)		(µg.m ⁻³)		(µg.m ⁻³)	(µg.m ⁻³)		(µg.m ⁻³)
	8h	24h	MAA	24h	MAA	24h	MAA	24h	MAA	24h	MGA	MAA	1h	MAA	8h
PI1	-	125	40	120	40	60	20	120	40	-	-	-	260	60	140
PI2	-	50	30	100	35	50	17	100	35	-	-	-	240	50	130
PI3	-	30	20	75	30	37	15	75	30	-	-	-	220	45	120
Padrão Final	9	20	-	50	20	25	10	50	20	240	80	0,5	200	40	100

Nota 1: PI- Padrão intermediário. PI1(vigente), PI2, PI3 E PF serão definidos de acordo com a análise crítica das ações implementadas. MAA- média aritmética anual. MGA- média geométrica anual. CO- Monóxido de Carbono. SO₂- Dióxido de Enxofre.MP_{2,5/10}- Material Particulado com faixa de tamanho de 2,5 ou 10micrômetros. FMC- Material Particulado em suspensão na forma de fumaça. PTS- Partículas Totais em Suspensão. Pb-Chumbo. NO₂- Dióxido de Nitrogênio. O₃- Ozônio.

Nota 2: (1) Medido nas partículas totais em suspensão.

Extraído de: BRASIL (2018).

4.5 HISTÓRICO DE LEGISLAÇÃO DO ESTADO DE SÃO PAULO

Após a publicação do Decreto nº8.468/ 1976, significativas mudanças no arcabouço normativo estadual ocorreram, com destaque ao Decreto estadual nº48.523/2004 (SÃO PAULO, estado, 2004), que introduziu novo conceito de regiões ou sub-regiões em vias de “saturação”, condicionando, para fins de licenciamento ambiental, exigências contidas nos programas de recuperação e melhoria da qualidade do ar previstos pelo decreto.

No caso da instalação ou da operação de novas fontes de poluição ou em ampliação das já existentes, estabeleceu-se um mecanismo de compensação de emissões atmosféricas, que segundo o Decreto estadual nº 48.523/2004 deveria considerar a compensação das emissões com ganho ambiental, para possibilitar a

inclusão de novas fontes de poluição do ar em sub-regiões saturadas ou em vias de saturação.

Em razão das dificuldades operacionais e complexidades do novo modelo, em 2007, o Decreto estadual nº52.469/2007 instituiu “regras transitórias” para ajustar temporariamente os mecanismos de controle/compensação para as diferentes situações encontradas, até que se efetivassem os instrumentos técnicos, jurídicos e institucionais necessários para implementação das ações preconizadas.

Em 2013, o Decreto nº59.113/13, instituiu novos padrões de qualidade do ar, utilizando como referência os valores guia recomendados pela OMS (2006) e sua proposta de realizar um escalonamento de metas, por meio da adoção de valores de concentração intermediários, mais restritivos a cada fase, até o atendimento ao padrão final (SÃO PAULO, 2013). Estes padrões e metas intermediárias foram aprovados pelo Conselho Estadual de Meio Ambiente – CONSEMA, em maio de 2011 (Quadro 5).

Quadro 5 - Padrões e metas de qualidade do ar aprovados na 283ª Reunião Ordinária do Plenário do Conselho Estadual de Meio Ambiente- Consema, em maio de 2011.

Padrão	CO	SO ₂		MP ₁₀		MP _{2,5}		FMC*		PTS*		Pb*	NO ₂		O ₃
	(ppm)	(µg.m ⁻³)		(µg.m ⁻³)		(µg.m ⁻³)		(µg.m ⁻³)		(µg.m ⁻³)		(µg.m ⁻³)	(µg.m ⁻³)		(µg.m ⁻³)
	8h	24h	MAA	24h	MAA	24h	MAA	24h	MAA	24h	MGA	MAA	1h	MAA	8h
M1	9	60	40	120	40	60	20	120	40	240	80	0,5	260	60	140
M2	9	40	30	100	35	50	17	100	35	240	80	0,5	240	50	130
M3	9	30	20	75	30	37	15	75	30	240	80	0,5	220	45	120
Padrão Final	9	20	-	50	20	25	10	50	20	240	80	0,5	200	40	100

Nota: M1 (vigente), M2, M3, Metas intermediárias, definidas de acordo com a análise crítica das ações implementadas. MAA- média aritmética anual. MGA- média geométrica anual. CO- Monóxido de Carbono. SO₂- Dióxido de Enxofre. MP_{2,5/10}- Material Particulado com faixa de tamanho de 2,5 ou 10micrômetros. FMC- Material Particulado em suspensão na forma de fumaça. PTS- Partículas Totais em Suspensão. Pb-Chumbo. NO₂- Dióxido de Nitrogênio. O₃- Ozônio.

*Parâmetros utilizados de forma auxiliar.

Extraído de: SILVA, M. F. (2013).

4.5.1 Definição de metas de redução de emissão de poluentes

Ao instituir padrões mais restritivos, sob a forma de metas a serem atingidas, alterou-se significativamente o referencial do modelo vigente no estado de São Paulo, implicando na necessidade de novas estratégias com vistas à redução das emissões atmosféricas de fontes fixas e móveis.

Nesse sentido, o Decreto nº 59.113/2013 criou o instrumento denominado Plano de Controle de Emissões Atmosféricas, composto por dois outros planos, que visam à redução de emissões de fontes estacionárias (PREFE) e de fontes móveis, Plano de Controle de Poluição Veicular (PCPV), este último, estabelecido pelo PRONAR (BRASIL, 1989).

O PREFE contém metas de melhoria da qualidade do ar, para sete regiões de controle (RC), definidas pela Cetesb como áreas compostas por municípios que apresentam similaridades na magnitude das emissões, característica das atividades da região e semelhança da qualidade do ar (CETESB, 2014):

- a) RC 01- São Paulo: municípios da Região Metropolitana de São Paulo-RMSP, Araçatiguama e São Roque;
- b) RC 02- Jundiaí: Atibaia, Bragança Paulista, Cabreúva, Campo Limpo Paulista, Itu, Jarinu, Jundiaí, Louveira e Várzea Paulista;
- c) RC 03- Paulínia: Amparo, Artur Nogueira, Campinas, Capivari, Cosmópolis, Engenheiro Coelho, Holambra, Hortolândia, Indaiatuba, Itatiba, Itupeva, Jaguariúna, Limeira, Mogi-Mirim, Monte Mor, Morungaba, Nova Odessa, Paulínia, Pedreira, Santa Bárbara D'Oeste, Santo Antônio de Posse, Sumaré, Valinhos e Vinhedo;

- d) RC 04- São José dos Campos: Caçapava, Guararema, Igaratá, Jacareí, Jambeiro, Monteiro Lobato, Paraibuna, Redenção da Serra, Santa Branca, São José dos Campos e Taubaté;
- e) RC 05- Cubatão: Bertioga, Cubatão, Guarujá, Itanhaém, Mongaguá, Praia Grande, Santos, São Vicente;
- f) RC 06- Santa Gertrudes: Santa Gertrudes, Rio Claro, Ipeúna e Cordeirópolis;
- g) RC 07- Piracicaba: composta apenas pelo município de Piracicaba.

As metas de cada RC foram calculadas com base na comparação dos dados obtidos em monitoramentos realizados pelas estações e o valor da meta intermediária 1 (MI1) do Decreto 59.113/2013 (Quadro 5), vigente.

Para a definição das metas de melhoria de qualidade do ar, para cada RC, calculou-se a porcentagem de ultrapassagem da concentração de cada poluente, medido pela estação de monitoramento adotada como referência, em relação à meta intermediária vigente (MI1) de acordo com o Quadro 6.

As estações de monitoramento das regiões de controle, que obtiveram a maior magnitude de ultrapassagem do PQA vigente, foram designadas para representar a RC como um todo.

Quadro 6 - Magnitude das reduções calculadas de acordo com o poluente que estava acima da meta “MI1” nas RCs estabelecidas pelo PREFE-2014.

Região de Controle	Parâmetro	% de Redução	Estação Referência
01	Ozônio	20,5	São Caetano do Sul
01	Material Particulado	4,8	São Caetano do Sul
02	Ozônio	3,4	Jundiaí
03	Ozônio	16,2	Paulínia
03	Material Particulado	14,9/ 9,1	Limeira/ Paulínia
04	Ozônio	6,7	São José dos Campos
05	Ozônio	1,4	Cubatão-Centro
05	Material Particulado	5,7	Cubatão- Vila Parisi
06	Material Particulado	52,4	Santa Gertrudes – Jd. Luciene
07	Material Particulado	18,4	Piracicaba- Algodão

Extraído de: Elaboração própria, com base em dados da CETESB (2014).

Para o “rateio” das parcelas de redução de emissão, entre fontes fixas e móveis, previstas no Quadro 6, segundo Cetesb (2014), primeiramente foi identificada a proporcionalidade de emissão das fontes em massa, por poluente atmosférico, em cada RC, com base no inventário de fontes fixas de 2008 e inventário de fontes móveis.

Com a parcela de emissão de poluentes de cada fonte, aplicou-se uma relação linear entre parcela de emissão x meta de redução por RC. Não houve utilização de modelagens de dispersão e fotoquímica, para avaliar o comportamento dos poluentes primários e secundários, considerando as variáveis que interferem em suas formações, como a química atmosférica.

Em relação à meta MI1, que para MP_{10} é de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para concentrações médias de 24 horas e de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para concentrações médias anuais, a RMSP, segundo apresentado pela Cetesb (2017), encontra-se em atendimento para os dois parâmetros, havendo poucas ultrapassagens, quanto às máximas diárias, na estação de monitoramento do Grajaú- Parelheiros (CETESB, 2018).

Porém, o PREFE-2014 prevê meta de melhoria da qualidade do ar em relação a Material Particulado, para a RMSP, de 4,8%, com base na comparação de MI1 de $MP_{2,5}$ (média anual), com as médias aritméticas, das médias anuais, dos últimos três anos para $MP_{2,5}$, medido na estação de monitoramento de São Caetano do Sul.

4.6 SITUAÇÃO DA QUALIDADE DO AR PARA MP_{10} NAS REGIÕES EM ESTUDO

Nos EUA, a situação da qualidade do ar dos poluentes controlados é publicada em seus relatórios anuais e no *website* da USEPA.

Considerando o poluente em estudo, MP_{10} , o gráfico de tendência extraído da USEPA (Figura 3) indica a queda de 30% das médias anuais das concentrações entre 2000 a 2017, apresentando uma inflexão em 2016, que não foi justificada no relatório analisado. O gráfico foi elaborado, comparando os valores de concentração ao padrão de qualidade do ar vigente no país para a média anual da segunda máxima diária de MP_{10} , de $150 \mu\text{m}/\text{m}^3$, equivalente a meta 1 dos valores guia recomendados pela OMS.

Figura 3 – Tendência das concentrações médias de MP_{10} nos EUA.

Nota: (1) Valores representam a média anual do 2º maior valor diário ao longo do ano. (2) As medições consideradas contemplam 312 localidades.

Extraído de: USEPA (2019).

Para melhor entendimento do comportamento do MP_{10} e também buscando regiões mais semelhantes à RMSP, a Figura 4 indica a tendência de concentração de MP_{10} no nordeste americano, região mais populosa dos EUA e caracterizada por intenso tráfego de veículos e atividades industriais.

A redução de MP_{10} , na região nordeste dos EUA, em 17 anos, equivaleu a 31%, acompanhando a tendência da média nacional, mas apresentando valores de concentração do poluente mais baixos. Tal fato, demonstra a importância da análise local da qualidade do ar, para que não ocorra definição de exigências, que não sejam necessárias, incorrendo em custos para a administração pública e para os responsáveis pela redução de emissão das fontes, que originaram o poluente.

Figura 4 – Tendência das concentrações médias de MP_{10} na região nordeste dos EUA.

Nota: (1) Valores representam a média anual do 2º maior valor diário ao longo do ano. (2) As medições consideradas contemplam 27 localidades.

Extraído de: USEPA (2019).

Assim como nos EUA, a União europeia pública análise quantitativa e qualitativa da qualidade do ar de seus 28 membros anualmente. A Figura 5, a seguir, demonstra que as concentrações anuais médias, de MP_{10} , referentes a 14 países, encontram-se iguais ou abaixo do valor guia da OMS de concentração de poluentes, de $20\mu\text{m}/\text{m}^3$, cabendo destacar, que a meta vigente neste momento na União

Europeia é de $40\mu\text{g}/\text{m}^3$, demonstrando a efetividade das políticas europeias adotadas até então.

Os países que se encontram acima do valor padrão europeu, para a média anual de MP_{10} , de $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ são ainda candidatos (Montenegro, Turquia e Macedônia) e potencial país (Bósnia Herzegovina) a serem inseridos à União Europeia, portanto não possuem o mesmo histórico de políticas públicas de qualidade do ar implementadas, como nos 28 membros desta região.

Figura 5 – Concentrações de MP_{10} em relação ao valor limite anual de 2016 na União Europeia.

Nota: Valores da Ordenada em $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Extraído de: EEA (2018).

A redução da concentração de MP_{10} na RMSP, ao longo dos anos, é verificada por meio de dados de monitoramentos realizados pela Cetesb, publicados de forma online, por meio do *website* QUALAR e por meio de informações consolidadas em Relatório de Qualidade do Ar, anualmente.

A Cetesb dispõe de 30 estações automáticas e 10 pontos de coletas manuais para monitoramento dos poluentes controlados da RMSP, de acordo com a característica das fontes emissoras e resultados históricos de amostragem da

região, composta principalmente por CO, HC, NO_x, MP₁₀ e MP_{2,5}, SO₂ (CETESB, 2018).

Conforme a Figura 6, nota-se que, em um período de 16 anos, a partir do ano 2000, houve queda de aproximadamente 50% dos valores de concentração de MP₁₀, de forma a atender a meta intermediária vigente (MI1), segundo o Decreto 59.113/2013, de 40µg/m³, para a média aritmética anual.

Os resultados alcançados são provenientes de ações já descritas neste trabalho e que ainda podem trazer mais melhorias até se atender a meta final de 20 µg/m³.

Figura 6 - Evolução das concentrações médias anuais para MP₁₀, na RMSF.

Nota: Os dados utilizados são provenientes de estações consideradas representativas e que podem apresentar variações de concentração, dependendo de sua localização (CETESB, 2018).

Extraído de: CETESB (2018).

Observando a estratificação de poluentes da RMSF (Figura 7), proveniente do Relatório de Qualidade do Ar no estado de São Paulo (CETESB, 2018), nota-se a proporcionalidade das origens dos poluentes atmosféricos entre fontes fixas, móveis, abastecimento de veículos e ressuspensão de partículas indicadas.

No caso das emissões de MP₁₀, originário de processos industriais, estas correspondem à parcela de 10% em relação ao total emitido em relação a todas as fontes emissoras na RMSP, segundo estimativa da CETESB (2018).

Figura 7 – Origem de poluentes por tipo de fonte na RMSP.

Nota 1: MP₁₀ Contribuição conforme estudo de modelo receptor para partículas inaláveis. A contribuição dos veículos (40%) foi rateada entre todos os veículos de acordo com os dados de emissão disponíveis.

Nota 2: MP_{2,5} Contribuição conforme estudo de modelo receptor para partículas inaláveis finas realizado em Cerqueira Cesar em 1996/1997 sendo a contribuição dos veículos apresentada de forma global.

Nota 3: As emissões de HC provenientes do abastecimento dos veículos nos postos de combustível foram incorporadas nos veículos leves.

Extraído de: CETESB (2018).

4.7 GESTÃO DA QUALIDADE DO AR

Para efetivamente se atender ao objetivo principal da gestão da qualidade do ar, de atingir ao nível ótimo de proteção à saúde pública, em diferentes contextos (OMS, 2006) são necessárias tomadas de decisão complexas, envolvendo a definição de objetivos específicos e ações multidisciplinares, que não possuem uma receita única de sucesso (CARNEVALE, 2012).

Em se tratando de poluentes lançados na atmosfera, que se dispersam, reagem entre si formando outros poluentes, variam sua concentração espacialmente e temporalmente (KANDLIKAR, 2007), podendo inclusive se mover por muitos quilômetros e atravessar continentes (EEA, 2018), o estabelecimento de políticas de qualidade do ar, juntamente com planos de ação, requer um diagnóstico e prognóstico apurados da origem e comportamento dos poluentes (VEDRENNE et al., 2014).

Nos EUA, o *Clean Air Act* criou o chamado *State Implementation Plan* (SIP), que deve ser elaborado pelos estados e aprovado pela agência ambiental americana (do inglês, *Environmental Protection Agency*, USEPA), visando estruturar medidas para a gestão da qualidade do ar, que permitam atingir ou manter os padrões de qualidade do ar nacionais (do inglês, *National Ambient Air Quality Standards*, NAAQS), segundo USEPA (2011).

As diretrizes de implementação do SIP são previstas pelo Código de Regulação Federal (do inglês, *Code of Federal Regulation*, CFR) 40, título 51, preconizando ações descritas nas subpartes A à Z (USEPA, 2013), que contém todos os elementos considerados necessários para a política de gestão da qualidade do ar americana:

- a) subparte A- *Requisitos de reporte de emissões atmosféricas*: definição de poluentes a serem reportados, apresentação de perguntas e respostas frequentes realizadas sobre o SIP;
- b) subparte B-E: Reservadas³;
- c) subparte F- *Requisitos procedimentais*: definição e premissas para a elaboração do SIP, como a necessidade de se realizar análise de custo-efetividade das ações previstas de controle e a possibilidade de a sociedade civil requisitar audiências em momentos de revisão do SIP;

³ Reservadas: Termo traduzido do inglês “*Reserved*”, terminologia jurídica utilizada para indicar que um item de norma legal foi suprimido temporariamente, por conter erros ou outra questão que poderia causar dúvidas na interpretação da norma (USEPA, 2013).

- d) subparte G- *Estratégia de controle*: identificação de fontes de emissão, realização de inventários, monitoramento das fontes de qualidade do ar, verificação de atendimento ao padrão de qualidade do ar, por meio de modelagens definidas no “Guia de Modelagens” do CFR 40, limites de emissão veiculares e de poluentes controlados;
- e) subparte H- *Prevenção de episódios de emergência de poluição do ar*: classificação de episódios críticos de acordo com as concentrações dos poluentes por regiões do país, critérios para elaboração e avaliação dos resultados dos planos de contingência;
- f) subparte I- *Avaliação de fontes novas e existentes*: definição de procedimentos em áreas “em atendimento” e em “não atendimento”, em relação aos padrões de qualidade do ar, definição de limites de emissão para as fontes, situações em que é necessário o uso de Melhores Tecnologias de Controle Disponíveis (do inglês, *Best Available Control Technology*, BACT) ou a menor taxa de emissão atingível (do inglês, *Lowest Achievable Emission Rate*, LAER), requisitos de construção e operação de sistemas de emissão, monitoramento e controle de poluentes emitidos por fontes estacionárias;
- g) subparte K- *Fiscalização da qualidade do ar*: requisitos de monitoramento e verificações dos aspectos que abrangem a qualidade do ar;
- h) subparte L- *Autoridades legais*: o SIP deve indicar as autoridades legais do Estado responsáveis pelo cumprimento de fiscalização e controle das exigências do CFR 40;
- i) subparte M- *Consultas intergovernamentais*: identificação da necessidade de envolvimento de outros órgãos de governos para a implementação do SIP;
- j) subparte N- *Calendário de obrigações legais*: determina a necessidade de atendimento dos prazos previstos em normas federais e procedimento necessário para justificar prorrogações de prazo;

- k) subparte O e P: requisitos gerais de conteúdo do plano e regras de proteção de visibilidade, como requisitos para determinação de exceção de controle e outras obrigações gerais;
- l) subparte Q- *Reportes*: itens que devem constar nos relatórios de análise estaduais;
- m) subparte R- *Extensões de prazo*;
- n) subparte S- *Requisitos de programas de Inspeção/ Manutenção de veículos*;
- o) subparte T- *Conformidade com planos estaduais ou federais de implementação de planos de transporte, programas e projetos desenvolvidos, financiados ou aprovados sob o título 23 do Código de Trânsito Americano*;
- p) subparte U- *Programas de incentivos econômicos*: para incentivos ao atendimento das emissões;
- q) subparte W- *Determinação de conformidade de ações federais gerais para o estado ou Planos de Implementação Federal*;
- r) subparte X- *Ações para implementação de padrões de qualidade do ar de 8 horas para Ozônio*;
- s) subparte Y- *Requisitos de mitigação*;
- t) subparte Z- *Ações de implementação do padrão de qualidade do ar para MP_{2,5}*;

Em uma análise das políticas de gestão da qualidade do ar, em 16 países europeus, Miranda et al. (2015) consolidaram os aspectos comuns que norteiam a elaboração dos Planos de Qualidade do Ar daqueles países, destacando os itens

que mais se repetem entre eles, representados pelas caixas mais escuras no fluxograma da Figura 8.

Figura 8- Esquema simplificado de aspectos relacionados em diferentes estágios dos Planos de Qualidade do Ar europeus.

Extraído de: MIRANDA et al. (2015, adaptado).

Segundo Miranda et. al (2015), a caracterização das fontes e a identificação das proporções de contribuição das emissões, que causam alterações da concentração do poluente na atmosfera, são ações iniciais de um plano de qualidade do ar, consideradas de grande importância para a obtenção de um diagnóstico assertivo, principalmente em situações em que não há atendimento do padrão de qualidade do ar (OMS, 2006).

Para tanto, é necessário obter dados por meio do monitoramento do comportamento dos poluentes na atmosfera, ao longo do tempo e espaço, juntamente com a modelagem da influência da emissão da fonte na qualidade do ar, visando verificar às prováveis origens da alteração do PQA.

Desta forma, a definição de estratégias de controle, apontadas na Figura 8, deverá ser traduzida em possíveis reduções de emissão, mas também avaliando o seu verdadeiro impacto na melhoria da qualidade do ar, por meio de modelagens, considerando a adoção de tecnologias viáveis e custo-efetivas (MIRANDA et al., 2015; VLACHOKOSTAS et al.; 2011).

Kura et al. (2013), por meio do estudo dos problemas de poluição em grandes cidades de países em desenvolvimento, como China, Índia e Brasil, também verificaram alguns aspectos contemplados nos Planos de Qualidade do Ar europeus, porém, sem avaliar a coerência e efetividade das ações, com destaque a:

- a) identificação de poluentes críticos e suas fontes;
- b) realização de monitoramento;
- c) realização de inventário de emissões;
- d) priorização de fontes de emissão;
- e) definição de políticas de controle de emissão;
- f) desenvolvimento de sistema de suporte a decisões integrado à qualidade do ar e riscos à saúde.

4.8 MELHORES TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

4.8.1 Definição dos Estados Unidos da América

A USEPA (2013) adota definições específicas relacionadas à BAT, considerando que, independentemente do tipo de tecnologia e/ou prática ambiental, o foco deve ser o abatimento das emissões geradas de fato, desde que atendam aos NAAQS.

As definições de BAT se deram no âmbito do Programa de “Avaliação de Novas fontes” (do inglês, *New Source Review*, NSR) da USEPA, incluindo os

seguintes elementos para diferenciação dos conceitos adotados: a situação da qualidade do ar regional/ local, licenciamento de fontes novas ou existentes, limites de emissão e viabilidade técnica e econômica.

A terminologia adotada para as tecnologias consideradas, caso a caso, em licenciamentos de fontes novas e existentes é a seguinte:

- a) BACT- Melhor Tecnologia de Controle Disponível (do inglês, *Best Available Control Technology*) – utilizada para grandes fontes, novas ou modificações em fontes existentes, em áreas em que as concentrações de poluentes atendem aos padrões de qualidade do ar vigente, segundo o NAAQS.
- b) LAER- Menor Taxa de Emissão Atingível (do inglês *Lowest Achievable Emission Rate*) - utilizada para fontes novas ou modificação de existentes, de grande relevância, em áreas que não atendem aos padrões de qualidade do ar vigente, segundo o NAAQS. A aplicação do conceito ocorre por meio da comparação da taxa de emissão de fontes semelhantes existentes, em relação à projeção de emissão da fonte submetida ao licenciamento. Caso não seja possível atender a este parâmetro, pode haver a opção de compras de créditos de emissão na mesma “bacia aérea”.
- c) RACT- Tecnologia de Controle Razoavelmente Disponível (do inglês, *Reasonably Available Control Technology*) – aplicadas às modificações de fontes existentes, em áreas que não atendem aos padrões de qualidade do ar vigente, segundo os NAAQS. Trata-se de tecnologias que devem ser utilizadas, considerando-se a viabilidade técnica e econômica de adaptação da planta industrial, visto que se refere às plantas existentes, que podem ter maiores restrições para adaptação.

4.8.2 Definição da União Europeia

O conceito de “*Best Available Techniques*” (BAT) para a União Europeia é definido pela Diretiva nº 2010/75/EU, sobre “Emissões Industriais”, que além de procedimentos para licenciamento e limites de emissão de fontes fixas, estabeleceu ações para a “Prevenção e Controle Integrados da Poluição” (do inglês, *Integrated Pollution Prevention and Control*, IPPC) nos compartimentos de água, ar e solo:

“[...] Melhores técnicas disponíveis- o mais efetivo e avançado estágio de desenvolvimento de atividades e seus métodos de funcionamento que indiquem a adequação prática de determinadas técnicas para fornecer a base para os valores-limite de emissão e outras condições de prevenção e, quando isso não for praticável, reduzir as emissões e o impacto no ambiente como um todo:

a) Técnicas- inclui tanto a tecnologia utilizada, como a forma como a instalação é projetada, construída, mantida, operada e descomissionada;

b) Técnicas disponíveis- as que são desenvolvidas à escala que permite a implementação em setores industriais relevantes em condições economicamente e tecnicamente viáveis, levando em consideração os custos e vantagens, sendo ou não técnicas utilizadas ou produzidas dentro do Estado-Membro em questão, desde que sejam razoavelmente acessíveis ao operador;

c) Melhor- significa mais efetiva na obtenção de um alto nível de proteção do ambiente como um todo; [...]”

(EUR-LEX, 2010).

4.8.3 Definições do Brasil e de São Paulo

No Brasil, as Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente-CONAMA nº382/ 2006 e nº436/2011, também aplicadas à RMSP, estabelecem os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas, considerando como conceito de tecnologia prática disponível, o seguinte:

“[...] adoção de tecnologias de controle de emissão de poluentes atmosféricos técnica e economicamente viáveis e acessíveis e já

desenvolvidas em escala que permitam sua aplicação prática” (BRASIL, 2006).

Em São Paulo, onde o termo Melhor Tecnologia Prática Disponível – MTPD foi originado no Brasil e descrito no Decreto nº 8.468/1976, vigente, a definição de MTPD foi descrita no artigo 41:

“[...] Artigo 41- As fontes de poluição, para as quais não foram estabelecidos padrões de emissão, adotarão sistemas de controle de poluição do ar baseados na melhor tecnologia prática disponível para cada uso.

Parágrafo único — A adoção da tecnologia preconizada neste artigo, será feita pela análise e aprovação da CETESB de plano de controle apresentado por meio do responsável pela fonte de poluição, que especificará as medidas a serem adotadas e a redução almejada para a emissão”

(SÃO PAULO, estado, 1976).

Posteriormente outra especificação de MTPD, foi descrita em Guia publicado pela Cetesb, em 2017:

“Para este guia, melhor tecnologia prática disponível (MTPD) é o mais efetivo e avançado estágio tecnológico no desenvolvimento da atividade e seus métodos de operação, o qual indica a sustentabilidade prática disponível, considerando a viabilidade de uma particular técnica para providenciar, em princípio, a base para atender o limite de emissão estabelecido para prevenir ou, onde não for praticável, reduzir as emissões e o impacto ao meio ambiente.” (CETESB, 2017b).

4.9 MELHORES PRÁTICAS AMBIENTAIS

Com uma visão mais holística da cadeia geradora de um poluente, a ONU por meio de seu Programa de Meio Ambiente (do inglês, *United Nation on Environmental Program*, UNEP) e a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) adotam o conceito BAT/BEP, criado na Convenção de Estocolmo de Poluentes Orgânicos Persistentes em 1972. BEP é a sigla em inglês de Melhores

Práticas Ambientais (*Best Available Practices*), conforme definição aplicada no “Guia de BAT e BEP” desenvolvido para a Convenção de Minamata sobre Mercúrio:

“A Convenção define "melhores práticas ambientais" como "a aplicação da combinação mais apropriada de medidas e estratégias de controle ambiental"

(UNEP, 2014).

O termo BAT/BEP tem o objetivo de trazer ao gerenciamento de aspectos ambientais de um projeto ou mesmo de unidades de estado, a necessidade de atuação de forma abrangente, não somente no âmbito da geração do poluente e troca de tecnologias, mas nas políticas públicas e ações que possam impactar em sua eliminação ou redução (OCDE, 2018).

Em vista da abrangência que a definição do termo representa, este trabalho adotou o termo BAT/BEP ao se referir a “melhores tecnologias/ técnicas disponíveis e práticas ambientais”, ou seja, o termo “BEP” denota a inclusão de ações relacionadas a procedimentos operacionais, programas e planos de ação, educação, capacitação, entre outras ações.

4.10 METODOLOGIAS DE AUXÍLIO NA TOMADA DE DECISÃO

Segundo Carnevale et al. (2014), a definição de estratégias eficientes para a gestão da qualidade do ar requer informações detalhadas e precisas sobre o poluente prioritário, por meio de ferramentas, que possam processar as diferentes variáveis, produzindo resultados aplicáveis ao planejamento de ações para a melhoria da qualidade do ar.

A constatação ocorre, devido ao grande número de variáveis que envolvem a gestão da qualidade do ar, além do pouco recurso financeiro para execução de ações, que deve ser empregado de forma eficiente, para haver um resultado certo, quanto à redução da concentração de poluentes (VIAENE et al., 2016).

Para equacionar a questão complexidade *versus* respostas rápidas, que ampare a tomada de decisão, metodologias das mais simples às mais complexas têm sido desenvolvidas e aplicadas em âmbito global/ regional, meios urbanos, até vias (THUNIS et al., 2016).

Nos EUA, conforme exigência descrita no *Clean Air Act* (Seção 812), os administradores da qualidade do ar, ou seja, órgãos do governo e legisladores de normas que impactam a qualidade do ar, devem realizar análise de custo-benefício e custo-efetividade em relação às medidas provenientes de políticas públicas para a gestão da qualidade do ar (USEPA, 1977).

Até o momento, três relatórios contendo avaliação de custo-benefício e custo-efetividade foram publicados, correspondendo a análises que abrangem o período de 1970 até uma projeção de 2020. Em relação aos custos referentes às ações de melhoria da qualidade do ar, foram utilizadas metodologias que englobaram modelagens de análise integrada, custos diretos de abatimento de poluentes e modelo de equilíbrio geral (USEPA, 2011).

Na União Europeia, o processo de análise crítica dos resultados das políticas de gerenciamento da qualidade do ar, além de considerar os elementos custo-efetividade e custo-benefício, também avaliam as metodologias realizadas para desenvolver os Planos de Qualidade do Ar, *SIP*, instrumento adotado pelos membros desta região.

Em 2015, a agência ambiental da União Europeia publicou resultados do projeto denominado de “Políticas de poluição atmosférica para avaliação de estratégias integradas em escalas regionais e locais” (do inglês, *Air Pollution Policies for Assessment of Integrated Strategies at Regional and Local Scales*, APPRAISAL EU), com o objetivo de avaliar metodologias utilizadas para compilar dados locais e regionais que são subsídios para Planos de Qualidade do Ar.

Como um dos destaques do estudo realizado, a “Modelagem de Análise Integrada” (do inglês, *Integrated Assessment Modeling, IAM*) foi indicada como uma ferramenta amplamente utilizada e com tendência de continua adesão, pois há mais de 20 anos é aplicada em análises que suportam negociações de protocolos

internacionais, políticas regionais de qualidade do ar e também locais (AMANN et al., 2011).

Outra metodologia também apontada pelo APPRAISAL, considerada como base aos IAMs, é a “Direção- Pressão- Situação- Impacto” (do inglês, *Drive-Pressure-State- Impact-Response, DPSIR*), consistindo em um modelo mais simples de integração de análise (VIAENE et al, 2016), pela recomendação de construção de um “roadmap” (Figura 9), que engloba a análise dos impactos das ações do ponto de vista econômico, ambiental, social, saúde e clima.

Figura 9 - Esquema DPSI adaptado para modelagem de análise integrada (IAM) em escala regional/ local.

Nota: TM: Medida de Tecnologia (do inglês, *technology measures*).

Extraído de: VIAENE (2016, adaptado).

4.10.1 Modelo de Análise Integrada

Segundo Amann et al. (2011), modelos de análise integrada, IAM, são constituídos de um pacote de softwares baseados na *web*, que identificam estratégias de controle mais custo-efetivas para melhoria da qualidade do ar.

Esses modelos consideram interconexões de problemas decorrentes da má qualidade do ar (ex: aspectos de saúde e meio ambiente), inter-relações físicas e químicas entre poluentes, atmosféricas e fontes de emissão, de forma a auxiliar na tomada de decisão, em detrimento de medidas que possam trazer a redução efetiva da concentração de poluentes.

Trata-se de modelos empregados inicialmente para a análise de políticas de qualidade do ar, em âmbito regional, porém já adaptados para escalas nacionais e locais (CIUCCI et al., 2016).

De acordo com Thunis et al. (2016), os IAMs são classificados em duas categorias, conforme o tipo de análise:

- a) análise de cenário- considera o portfólio de medidas (tecnológicas e/ou técnicas) para abatimento de poluentes e seus impactos para a melhoria da qualidade do ar, congregando também modelagens de dispersão;
- b) análise de otimização- utiliza algoritmos, de forma automática, para conciliar as medidas de abatimento, que levem a um menor custo/ ou maximização de benefícios, em relação à máxima concentração de poluentes a ser influenciada pela medida analisada, de forma a melhorar a qualidade do ar.

Nos EUA, além dos IAM, destaca-se também a integração Modelos de Equilíbrio Geral (do inglês, *Computable General Equilibrium*, CGE), como o *Emission Prediction and Policy Analysis* (EPPA-HE), cujo objetivo é de analisar os impactos macroeconômicos e de competitividade das opções de abatimento de poluentes em diferentes setores da economia (VRONTISI et al., 2016).

Desenvolvido pelo *Massachusetts's Institute of Technology* (MIT), o modelo EPPA-HE é considerado por Patsev et al. (2005) como mais detalhado que o modelo GEM-E3 (do inglês, *General Equilibrium Model for Economy- Energy- Environment*,

GEM-E3), utilizado na União Europeia, pois aprofunda os cálculos de impacto à saúde e lazer, o que não ocorre com o GEM-3.

A análise de custo-efetividade da implantação das medidas de gestão da qualidade do ar, previstas pelo *Clean Air Act (CAA)*, tem sido realizada pela USEPA de acordo com períodos curtos, por meio de IAMs e CGE, para se detectar o efeito das ações realizadas.

Foram publicados três relatórios, até o momento, que contém análises de custo-efetividade e custo-benefício de diferentes períodos, após a edição de emendas ao CAA: em 1970, de 1990 a 2010 e de 1990 até uma projeção de efeitos em 2020.

Dentre as alterações realizadas no CAA, em 1990, destacam-se emendas relacionadas à adição de controle e limites de emissão para novos poluentes atmosféricos perigosos (do inglês, *Hazardous Air Pollution*, HAP), novos programas de controle de chuva ácida e substâncias de depleção da camada de ozônio (USEPA, 2011).

No último estudo de custo-efetividade e custo-benefício das emendas ao CAA de 1990 à 2020, o cenário base de partida para as modelagens e análises qualitativas do estudo constitui-se do status da qualidade do ar e dos outros aspectos de saúde e meio ambiente característicos até 1990, antes que as novas emendas entrassem em vigor.

Assim, segundo USEPA (2011), o estudo foi composto por seis etapas, esquematizadas na Figura 10, que compreenderam a:

- a) modelagem de emissão, para obtenção de diagnóstico do comportamento das emissões;
- b) estimativa de custos diretos do abatimento de emissões;

- c) modelagem de qualidade do ar, para a determinação de concentração de poluentes em espaço e tempo, considerando variáveis de influência como meteorologia, influência de outros poluentes;
- d) estimativa de efeitos à saúde e meio ambiente, tais como mortalidade, morbidade, lazer em áreas com índices de qualidade do ar aceitáveis;
- e) resultados agregados (impacto no PIB);
- f) caracterização de incertezas.

Figura 10 – Esquema contendo etapas de análise de custo-efetividade e custo-benefício das emendas de 1990 do *Clean Air Act*.

Extraído de: USEPA (2011, adaptado).

Na União Europeia, autores registram dois momentos em que um dos primeiros modelos de análise integrada criados, *Regional Air Pollution Information and Simulation* (RAINS), foi aplicado para auxiliar negociações da revisão das metas de redução de emissão de poluentes da Convenção Transfronteira de Poluição Atmosférica a Longa Distância⁴ (do inglês *Convention Long-range Transboundary Air Pollution Convention, CLRTAP*) e também no Protocolo de Gotemburgo (TUINSTR et al., 2007; HORDIJK e AMANN, 2007; AMANN et al., 2011).

Ambos os acordos internacionais, quando firmados, apresentavam metas fixas de redução de emissão iguais para todas as partes, aderentes ao protocolo, independentemente de sua proporção de geração de poluentes. Já durante o processo de revisão, por meio da utilização do RAINS, os aspectos de custo-efetividade e obrigações diferenciadas foram adotados, de forma a gerar metas individuais a cada parte signatária (AMANN et al., 2011).

A Figura 11, a seguir, apresenta esquematização de entrada de dados e saída de informações do RAINS, que contém um pacote de modelos de dispersão de poluentes (NH₃, SO₂, NO_x, VOC), modelos fotoquímicos de formação de Ozônio, informações de limites de impactos ao meio ambiente (eutrofização, acidificação e níveis críticos de ozônio), além dos custos de tecnologia de abatimento de poluentes.

⁴ Convenção CLRTAP- Segundo UNECE (2018) “Oito protocolos identificam medidas específicas a serem tomadas pelas Partes para reduzir suas emissões. A Convenção fornece acesso a dados de emissão, medição e modelagem e informações sobre os efeitos da poluição do ar em ecossistemas, saúde, culturas e materiais.”

Figura 11 – Fluxograma esquemático do modelo RAINS.

Extraído de: SCHOPP et al. (1998, adaptado).

A evolução do modelo RAINS é o *Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies* (GAINS), modelo que contém uma atualização em relação aos impactos dos poluentes atmosféricos e processo de mitigação de gases de efeito estufa (AMANN et al., 2011).

A Figura 12 destaca as análises realizadas pelo modelo GAINS, de acordo com os poluentes controlados pela Política de Qualidade do Ar europeia, com a inclusão dos gases de efeito estufa (CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, SF₆) do Protocolo de Quioto.

Figura 12 – Abordagem multi-polvente/ multi-efeito do modelo GAINS.

	PM	SO ₂	NO _x	VOC	NH ₃	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFCs	PFCs	SF ₆
IMPACTOS À SAÚDE											
Material particulado	●	●	●	●	●		□				
Ozônio ao nível do solo			●	●							
DANOS À VEGETAÇÃO E ECOSSISTEMA											
Ozônio ao nível do solo			●	●			□				
Acidificação		●	●		●						
Eutrofização			●		●						
IMPACTOS CLIMÁTICOS											
A longo prazo (PAG100)	□	□	□	□	□	●	●	●	●		
A curto prazo	□	□	□	□	□	□	□	□	□		

Nota: quadrados sem preenchimento da figura indicam que os parâmetros ainda não foram considerados no GAINS; PAG: Potencial de aquecimento global.

Extraído de: AMANN et al. (2011, adaptado).

Regional Integrated Assessment Tool (RIAT) é outro exemplo de IAM que pode ser utilizado em âmbito nacional, de forma menos complexa do que os modelos RAINS/GAINS, tendo como principal foco o problema de otimização multi-objetiva: a relação de qualidade do ar *versus* o custo de medidas de redução de emissão de poluentes (CARNEVALE et al, 2014).

Os resultados obtidos com o modelo RIAT são tabelas indicando as medidas de abatimento otimizadas e agregadas por setor, quantidade de abatimento possível, juntamente com seu custo-efetividade e índice de qualidade do ar final, obtido com as medidas indicadas no ponto ótimo da análise, conforme descrevem Carnevale et al. (2014).

A Figura 13 demonstra a forma de apresentação dos resultados da modelagem RIAT, gerando gráficos de relação de concentração e custo-efetividade, mapa de qualidade ótimo, mapa e qualidade de emissão e aplicação detalhada de tecnologia considerada ótima.

Figura 13 – Exemplo de resultado do Modelo RIAT.

Extraído de: CARNEVALE et al. (2012).

Sem esgotar as opções, alguns autores destacam outros IAMs que são utilizados em âmbito nacional em alguns países da Europa, tais como:

- Luxembourg Energy Air Quality Model (LEAQ)* – foco em emissões por meio de fontes que geram energia, utilizado em Luxemburgo (THUNIS et al., 2016);
- United Kindom Integrated Assessment Model (UKIAM)* – pondera o atendimento aos padrões de emissão de fontes aos efeitos à saúde e ecossistema, utilizado no Reino Unido. Especializado em emissões provenientes de veículos e rodovias, com destaque para a análise do poluente MP_{10} (THUNIS et al., 2016);
- GAINS-Italy* – adapta as informações contidas no modelo GAINS com metas e informações de saúde e emissões da Itália (CIUCCI et al., 2016).

A União Europeia, assim como ocorre nos EUA, também integra modelos de equilíbrio geral aos IAMs, tais como o modelo GEM-E3, utilizado para avaliar o

custo-efetividade/ custo-benefício do “Pacote de Políticas de Ar limpo” (do inglês, *Clean Air Package*) em 2013.

Segundo Vrontisi et al. (2016) trata-se de um modelo multisetorial e multi regiões, de equilíbrio das atividades que envolvem a economia mundial. O modelo possui dados econômicos das 10 maiores economias na Europa, que representam a dinâmica dos 28 membros da União Europeia. Também apresenta dados de 21 setores da economia, extraídos do *Global Trade Analysis Project* (GTAP 8)⁵.

Os resultados das análises realizadas são apresentados por meio das seguintes variáveis econômicas: *Gross Domestic Product* (GDP), equivalente ao Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, empregabilidade e produção setorial, guiado pelo acúmulo de capital e investimentos. A premissa inicial adotada pelo modelo, para a análise de impacto financeiro, consiste em mensurar os custos de abatimento de poluentes, praticados pelos setores econômicos (utilizando-se o modelo GAINS), que resultarão em aumento de custo de produção e redução de sua competitividade (VRONTISI et al., 2016).

Já as análises dos benefícios à saúde e ao meio ambiente, gerados pelas medidas provenientes das políticas públicas, são integradas por meio das variáveis: dias de trabalho perdidos, redução e gastos com a saúde e aumento de produtividade de colheitas.

4.10.2 Análise de viabilidade de implementação de BAT/ BEP

As análises de viabilidade e custo-efetividade, das políticas de qualidade do ar, têm como resultado a indicação sobre quais medidas seriam necessárias para a

⁵ Nota: Global Trade Analysis Project (GTAP), projeto de avaliação global de comércio, “é uma rede global de pesquisadores e formuladores de políticas que conduzem análises quantitativas de questões de política internacional. O GTAP é coordenado pelo Centro de Análise do Comércio Global no Departamento de Economia Agrícola da Universidade de Purdue.”
Site: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/>

redução da concentração de poluentes a níveis aceitáveis ou com menor risco à saúde (OMS, 2006).

Para tanto, as estratégias de controle da qualidade do ar podem envolver Inspeção/ Manutenção de veículos, gestão da frota, exigência de tecnologias de motores mais eficientes e a maior restrição de emissão de fontes fixas (GULIA et al., 2015).

Segundo Miranda et al., (2015), as avaliações das políticas e estratégias para melhoria da qualidade do ar, podem indicar a necessidade de medidas de abatimento classificadas como “técnicas” e “não técnicas”. Sendo as medidas técnicas, as ações de abatimento de “fim do tubo”, após a geração do poluente. As medidas não técnicas constituem ações associadas ao comportamento das pessoas (como redução de uso de automóvel) ou mesmo tecnologias que previnem a geração do poluente e práticas de gestão, como a Produção Mais Limpa (P+L).

São medidas que terão custos de implementação e manutenção, de responsabilidade do operador da planta industrial, no caso de atividades que envolvam fontes fixas.

Desta forma, necessitam de análise de relevância, para compor a tomada de decisão quanto a sua viabilidade de implantação, conforme exigido nas normas legais das regiões em estudo deste trabalho, EUA, União Europeia e RMSP, em especial, quando se tratar de BAT e também de práticas abrangentes para abatimento de emissões, denominadas de BEP (EUR-LEX, 1996; USEPA, 2011; SÃO PAULO, 2013).

Em que pese haver diferentes formas de se indicar que uma tecnologia é de alta eficiência na redução ou eliminação de poluentes, as regiões estudadas apresentam algumas diferenças de gestão para a tomada de decisão, envolvendo BAT/BEP, descritas nos próximos subcapítulos.

4.10.2.1 Estados Unidos da América

O *Clean Air Act* determina que a USEPA defina padrões de qualidade do ar para proteção da saúde e meio ambiente, utilizando como um dos instrumentos a indicação de limites de emissão para fontes móveis e fixas, visando ao controle de poluentes atmosféricos recomendados pela OMS, além dos chamados “poluentes atmosféricos perigosos” e gases de efeito estufa (USEPA, 2011), considerando o desempenho das tecnologias e/ou técnicas de abatimento e seus custos totais.

A política do país, com abordagem em tecnologia, requer a realização de avaliações de viabilidade técnica e econômica razoáveis, em especial ao se considerar fontes existentes, prezando pela busca de melhor eficiência na redução das emissões ou determinação de medidas que mantenham a qualidade do ar local, quando já se encontram atendendo aos padrões nacionais aplicáveis (NAAQS).

Para os projetos de instalação de novas fontes de poluição ou modificações de fontes existentes, de grande relevância, quando se localizar em áreas classificadas como “em atendimento” ao NAAQS ou em áreas que não possuem classificação, segundo diretrizes do *Clean Air Act*, o órgão ambiental deve realizar análise visando à Prevenção de Deterioração Significativa do Ar (do inglês *Prevention of Significant Deterioration*, PSD) (USEPA, 1977).

As análises, quanto às medidas cabíveis nestas situações, são realizadas considerando-se modelagens indicando que não haverá alteração da qualidade do ar, devido à instalação ou modificação de fontes e caso possa haver, são exigidas medidas técnicas, incluindo equipamentos de controle, ou não técnicas, com ações diretamente em processos produtivos e programas de prevenção e redução de emissões, incluindo os impactos econômicos (USEPA, 1977).

Neste tipo de procedimento, pode também haver, caso a caso, solicitações de análise de “Efeitos Cruzados”, em relação ao impacto das emissões da fonte no ar, solo, água, vegetação e visibilidade.

Para a realização da análise de viabilidade de implementação da melhor tecnologia, considerando sua eficiência e custo, a USEPA recomenda a consulta ao banco de dados denominado RACT/BACT/LAER *Clearinghouse* (RBLC, 2019).

Criado pelo Centro de Tecnologia em Ar Limpo da USEPA, o banco de dados reúne e organiza informações obtidas por agências ambientais locais, de forma a disponibilizar mais de 3.500 combinações de tipos de processos/ origem de poluentes/ poluentes/ tecnologia, como um portfólio para o empreendedor que realizará instalação ou modificação de fontes ou apenas comparará o desempenho de suas BAT/BEPs com as existentes no banco de dados.

Conforme Figura 14, para a obtenção das informações é necessário o preenchimento de um dos seguintes campos da área de busca do banco de dados: data das licenças, tipo de processo que origina o poluente em pesquisa, nome do poluente, nome da empresa ou planta em específico ou estado.

Figura 14. Banco de dados dos EUA, RBLC, contendo informações de BACT, RACT, LAER.

Extraído de: RBLC (2019).

Os resultados gerados, pelas buscas, apresentam nome do empreendimento, endereço, contato, tipo de processo gerador do poluente, tipo de tecnologia utilizada para abatimento da emissão, limite de emissão requerido, eficiência de abatimento, custo de abatimento por tonelada de poluente abatida e incremento do custo de abatimento por tonelada de poluente abatida.

Como forma complementar à indicação de melhores tecnologias e seus custos, para análise de viabilidade de implantação e operação, a USEPA possui “Manual de Controle de Custo da Poluição do Ar”, denominado neste trabalho de “Manual”, que se encontra em sua sexta edição, de 2002, porém contendo alguns capítulos revisados em 2017.

Segundo a USEPA (2002), os objetivos do Manual são:

“ [...] (1) oferecer orientação às autoridades setoriais e regulatórias para o desenvolvimento de custos precisos e consistentes (custos de capital, despesas de operação e manutenção e outros custos) para dispositivos de controle de poluição do ar e (2) estabelecer uma metodologia de custos padronizada e revisada por pares, em que todas as análises de custos de controle da poluição do ar possam ser realizadas [...]”
USEPA (2002).

Como forma de cumprimento de obrigações provenientes do *Clean Air Act* e também dos Planos Estaduais de Implementação (SIP) dos padrões de qualidade do ar, o Manual foi criado de forma a permitir que embasamentos de análise de viabilidade técnica e econômica fossem padronizados, tanto para a indústria que o utiliza, bem como para o órgão ambiental, de forma a facilitar os licenciamentos e verificação de atendimento a requisitos legais (USEPA, 2002).

Os métodos utilizados para cálculo dos custos de controle visam ao auxílio da tomada de decisão da indústria, para que não haja altos investimentos em uma tecnologia prevista, com baixo retorno em relação ao abatimento das emissões, sendo, portanto, necessária à estimativa de sua viabilidade de implantação (PERRY, 2007).

Segundo o Manual, o custo total de controle é composto pelo capital total de investimento (CTI) e o custo total anual (CTA), referente majoritariamente à operação do equipamento.

Os elementos que compõem o CTI, descritos na Figura 15, são divididos em “investimentos depreciáveis”, que possuem um capital aportado sem retorno financeiro, crédito ou mesmo pago com trabalho (USEPA, 2002) e em contrapartida, os “investimentos não depreciáveis”.

Em relação aos custos que compõem os investimentos depreciáveis, muito relacionados aos elementos que constituem os projetos de engenharia, destacam-se os seguintes custos:

- a) custos indiretos- associados à compra do equipamento, que embutem a engenharia conceitual, gastos de construção e campo, *start-up*, contingência;
- b) custos diretos- relacionados à implantação de estruturas e ativos do projeto, considerando quatro itens principais:
- prédio onde a tecnologia será instalada- construção, ampliação, adequação de prédio existente;
 - preparação da planta industrial para interação com o novo equipamento;
 - custo direto de instalação do equipamento;
 - custo de aquisição da tecnologia.

Figura 15. Elementos que compõem o Capital Total de Investimento, conforme Manual de Custo de Controle da Poluição do Ar da USEPA.

Extraído de: USEPA (2002, adaptado).

Os custos de operação, que compõem o custo total anual (Figura 16), após iniciadas as atividades do equipamento, são compostos pelos seguintes custos:

a) custos diretos

- variáveis: podem manter tendências, mas sua variação depende de fatores exógenos, como a dinâmica de mercado, que leva a diminuição e aumento de consumo, novos impostos e outros, correspondendo aos custos de matéria prima, utilidades e disposição de resíduos;
- semi-variáveis: há possibilidade de haver uma previsão dos gastos, tais como salários e encargos trabalhistas, material de operação e manutenção, reposição de peças.

b) custos indiretos- relacionados à atividade meio, independente das atividades de produção, consistem em custos gerais, seguros, taxas da propriedade, recuperação de capital;

c) créditos recuperados- podem ocorrer, por exemplo, por meio de programas de incentivo à redução do consumo de energia, materiais.

Figura 16 – Custo anual total de acordo com o Manual de Custo de Controle da Poluição do Ar da USEPA.

Extraído de: USEPA (2002, adaptado).

O Manual também indica fatores financeiros que devem ser considerados, principalmente quando há mais de uma opção de tecnologia e técnica, para abatimento do poluente, destacando a utilização de metodologias como o Valor Presente Líquido (VPL), taxa de retorno, amortização de investimento, alteração de preços e inflação incidente, tanto no projeto do equipamento, quanto em sua operação.

Os métodos de custo de abatimento de poluentes são descritos ao longo no Manual, de acordo com o tipo de tecnologia e técnicas recomendadas, por meio da verificação da contribuição de cada elemento descrito nas Figuras 15 e 16, utilizando-se dados e levantamentos realizados por pesquisa do Centro de Tecnologia de Ar Limpo da USEPA.

São mencionadas tecnologias para abatimento de compostos orgânicos voláteis, óxidos de nitrogênio e substâncias ácidas derivadas, material particulado e mercúrio.

Em relação ao poluente objeto deste trabalho, MP₁₀, o Manual apresenta as seguintes tecnologias de abatimento: filtros de manga, lavadores de gases e precipitadores eletrostáticos.

4.10.2.1.1 Filtro de mangas

Utilizado há mais de cem anos, devido sua eficiência em retenção de material particulado, além de seu custo-efetividade e tempo de vida dos materiais, que compõem as mangas (PHAN et al., 2012), o filtro de mangas é vastamente utilizado para separar partículas de gases.

Os filtros podem atuar retendo partículas de tamanhos de 10 a 200 µm e também partículas ultrafinas, que, dependendo de condições do processo de geração do poluente, podem ser mais eficientes quando as mangas recebem camadas de outros materiais (como pó hidratado de cal, por exemplo), de acordo com estudos realizados por Schiller e Schmid (2015), em sistema de retenção de partículas provenientes da queima de biomassa.

Em se tratando do filtro de mangas, o Manual possui banco de dados com custos de venda (US\$/ área de tecido) dos filtros de Shaker (intermitente e contínuo), Pulse-jet (comum, modular e cartucho) e Ar reverso.

O custo total de investimento é a soma dos custos de compra de equipamento, custos diretos e indiretos de instalação.

O custo total da compra do equipamento é composto pela soma dos custos do *baghouse*, mangas, equipamentos auxiliares, instrumentos de controle, além dos custos de logística e taxas.

Segundo levantamentos realizados pela USEPA, há uma relação de proporção entre o custo de compra do equipamento e o custo direto de instalação, conforme indicado no Quadro 7.

Quadro 7 – Fatores que compõem o custo de capital dos filtros de manga.

ITEM DE CUSTO	FATOR
<u>Custos Diretos</u>	
Custos de compra de equipamentos	
Filtros de tecido +Bag+equipamentos auxiliares	A
Instrumentação	0,10A
Taxas de venda	0,03A
Frete	0,05A
Custo de Compra de Equipamentos (CCE)	B=1,18 A
Custos Diretos de Instalação	
Fundação e Suporte	0,04B
Construção	0,50B
Elétrica	0,08B
Tubulação	0,01B
Isolamento do duto	0,07B
Pintura	0,04B
Custo Total de Instalação (CTI)	0,74B
Preparação do <i>Site</i>	PS
Prédios	Pd
Custo Direto Total (CDT)	CCE+CTI+PS+Pd
<u>Custos Indiretos (Instalação)</u>	
Engenharia	0,10B
Despesas de Construção e Campo	0,20B
Taxas de contrato	0,10B
<i>Start-up</i>	0,01B
Teste de Performance	0,01B
Contingências	0,03B
Custo Indireto Total (CIT)	0,45B
Capital Total de Investimento = CDT +CIT	

Extraído de: USEPA (2002, adaptado).

O custo total anual ou custo de operação é composto pelos elementos da Figura 16, equivalendo à equação descrita na fórmula 1 a seguir:

$$\text{Custo Total Anual} = \text{Custos Diretos} + \text{Custos Indiretos} - \text{Créditos Recuperados (1)}$$

4.9.2.1.2 Lavador de gases

São equipamentos que possuem métodos simples de remoção de material particulado ou gases ácidos do meio, a partir de seu contato com líquido de lavagem, utilizando-se pressão ou não (USEPA, 2002; KIM et al, 2015).

O Manual aborda a análise de custo de implantação dos seguintes tipos de lavadores de gases: torre de spray, torre de spray ciclone, lavador dinâmico, torres de bandejas, lavador Venturi, lavador de orifício.

USEPA (2002) apresenta vantagens em utilizar lavadores de gases, que geralmente são menores e mais compactos que do filtro de mangas e precipitador eletrostático, além dos custos de operação e manutenção, que também são menores.

As desvantagens, segundo USEPA, consistem na geração de efluentes contendo material particulado ou soluções acidificadas por gases, que devem ser tratadas, portanto gerando lodo de Estação de Tratamento de Efluente, e também na baixa eficiência de remoção de alguns tipos de lavadores, como torres de spray, diferentemente de lavadores Venturi que podem chegar a 99%.

Assim, como para outras tecnologias descritas no Manual, as informações de preços de venda de equipamento, seus acessórios e equipamentos auxiliares são disponibilizados, bem como as proporções entre o custo direto de compra do equipamento e o custo direto e indireto de instalação, conforme Quadro 8.

Quadro 8 – Custos diretos e indiretos para instalação de lavador Venturi.

ITEM DE CUSTO	FATOR
<u>Custos Diretos</u>	
Custos de compra de equipamentos	
Unidade do Pacote Venturi	A1
Custo auxiliares	A2
Custo de Equipamentos	$A=A1+A2$
Instrumentação	0,10A
Taxas de venda	0,03A
Frete	0,05A
Custo de compra de equipamentos (CCE)	$B=1,18A$
Custos Diretos de Instalação	
Fundação e Suporte	0,06B
Construção	0,40B
Elétrica	0,01B
Tubulação	0,05B
Isolamento do duto	0,03B
Pintura	0,01B
Custo Total de Instalação	0,56B
Preparação do Site	PS
Prédios	Pd
Custo Direto Total (CDT)	$CCE+CTI+PS+Pd$
<u>Custos Indiretos (Instalação)</u>	
Engenharia	0,10B
Despesas de Construção e Campo	0,10B
Taxas de contrato	0,10B
Start-up	0,01B
Teste de Performance	0,01B
Contingências	0,03B
Custo Indireto Total (CIT)	0,35B
Capital Total de Investimento = CDT +CIT	

Extraído de: USEPA (2002, adaptado).

O cálculo de custo anual de operação e manutenção, também conta com levantamentos realizados pelo USEPA, para auxílio na estimativa de custo total, ressaltando que há variáveis específicas de cada indústria que devem ser preferencialmente utilizadas, quando disponíveis (Quadro 9).

Quadro 9 – Fatores que compõem o custo anual de lavadores de gases.

ITEM DE CUSTO	FATOR
<u>Custos Diretos Anuais (CDA)</u>	
Mão de Obra	
Operadores	2 a 8 horas por turno
Supervisores	15% do operador
Manutenção	
Mão de Obra	1 a 2 horas por turno
Materiais	100% da mão de obra de manutenção
Utilidades	
Ventilador	
Bomba	
Água	
Material de Operação	Aplicação específica
Disposição de Resíduos	Aplicação específica
<u>Custos Indiretos Anuais (CIA)</u>	
Taxa de administração	2% do Capital Total de Investimento
Taxas da propriedade	1% do Capital Total de Investimento
Seguro	1% do Capital Total de Investimento
Despesas gerais	60% do custo de mão de obra e de material
Recuperação de capital	0,1098 x Capital Total de Investimento
Custo Total Anual	CDA+CIA

Extraído de: USEPA (2002, adaptado).

4.10.2.1.3 Precipitador eletrostático

Considerados como um dos controles mais utilizados para coleta de emissão de material particulado de caldeiras, incineradores e outros processos industriais, os precipitadores eletrostáticos (PPE) realizam o abatimento de poluentes por meio da remoção de partículas do fluxo de gases, por meio da aquisição de carga elétrica

pela partícula, que ocorre após a colisão com gases ionizados pelo efeito corona. As partículas com carga são atraídas pelos eletrodos de captação, para posterior remoção (USEPA, 2002).

O Manual abrange a análise de custos de implantação dos seguintes tipos de precipitadores: placa-fio, placa comum, tubular, úmido e de dois estágios.

O custo total de investimento para implantação de PPE equivale à soma do valor de compra do equipamento aos custos proporcionais diretos e indiretos (Quadro 10), com a ressalva realizada pelo Manual, em caso da instalação de PPE dois estágios, que terão seus custos de acessórios, por equipamento, reduzidos, porém com aumento de forma relevante do custo de instalação, que em relação ao valor de compra, antes de 0,20B, passará a ser 0,25B.

Quadro 10- Custo total de investimento para precipitador eletrostático.

ITEM DE CUSTO	FATOR
<u>Custos Diretos</u>	
Custos de compra de equipamentos	
PPE+Equipamentos auxiliares	A
Instrumentação	0,10A
Taxas de venda	0,03A
Frete	0,05A
Custo de Compra de Equipamentos (CCE)	B=1,18A
Custos Diretos de Instalação	
Fundação e Suporte	0,04B
Construção	0,50B
Elétrica	0,08B
Tubulação	0,01B
Isolamento do duto	0,02B
Pintura	0,02B
Custo Total de Instalação (CTI)	0,67B
Preparação do Site	PS
Prédios	Pd
Custo Direto Total (CDT)	CCE+CTI+PS+Pd
<u>Custos Indiretos (Instalação)</u>	
Engenharia	0,20B
Despesas de Construção e Campo	0,20B
Taxas de contrato	0,10B
Start-up	0,01B
Teste de Performance	0,02B
Contingências	0,03B
Custo Indireto Total (CIT)	CCE+CDT
Custo Total Anual	CDT CIT

Extraído de: USEPA (2002, adaptado).

O custo anual de operação e manutenção (O&M) é composto por custos diretos e indiretos. Para uma melhor avaliação das variáveis que envolvem a manutenção e operação, a USEPA (2002) recomenda a consulta ao “Manual de Operação e Manutenção para Precipitadores” (Nº USEPA/625/1-85/017), que embasa a estimativa de custo anual de O&M.

4.10.2.2 União Europeia

A Diretiva de emissões industriais europeia, nº2010/ 75/ EC, preconiza que a determinação de BAT para os setores industriais, bem como da metodologia de análise de viabilidade técnica e econômica, devem ocorrer por meio de processo participativo, envolvendo as indústrias, organizações não governamentais (ONGs) e agência ambiental europeia (EUR-LEX, 2010), tendo como objetivo endereçar:

- a) a performance das instalações industriais e suas técnicas, em termos de emissões, em curto e longo prazos, quando apropriado;
- b) as técnicas utilizadas, monitoramento, efeitos cruzados, viabilidade técnica e econômica;
- c) a adoção de BAT e técnicas que vierem a surgir, após consideração dos itens a e b.

Outra Diretiva europeia que prevê diretrizes para a realização de análise de viabilidade técnica e econômica, para a implantação de BAT, é a nº 2015/2193 (EUR-LEX, 2015), que trata de limites de emissão de SO₂, NO_x, MP e CO e procedimentos para licenciamento de fontes de emissão de plantas consideradas de média combustão (potência térmica entre 1 e 50MW).

Em seu artigo 6, a Diretiva determina a realização de processos de troca de informação entre indústrias, ONGs e agência ambiental europeia sobre os níveis de emissão atingidos por meio da adoção de BAT nos processos industriais, bem como a análise de seus custos.

Nesse contexto, de forma a buscar o atendimento aos objetivos propostos por normas legais já anteriores, como da Diretiva nº2010/75/EC e nº2015/2193, a União Europeia possui grupo de trabalho técnico de discussão (do inglês *Technical Working Group-TWG*) no âmbito do *European IPPC Bureau*, ligado ao Centro de Pesquisa da Comissão Europeia.

O TWG, criado no âmbito do IPPC, contou com até 200 participantes provenientes da academia, governo, especialistas nos temas, indústria, sociedade civil, para troca de informações, revisões e criação de documentos, como os chamados “Guias de Referência de BAT- BREF” (do inglês, *Best Available Techniques Reference Documents, BREFs*).

Os BREFs equivalem a uma série de guias para mais de 20 diferentes setores industriais, contendo procedimentos e tecnologias aplicáveis às atividades, com enfoque na prevenção, redução e controle de emissões atmosféricas, resíduos sólidos e efluentes (EC, 2012a). Em geral, os BREFs datam de 2006-2007, tendo parte já sido revisada a partir de 2012.

São indústrias elencadas nos BREFs: cerâmica, química, metais ferrosos, alimentos e bebidas, criação de porcos e aves, siderurgia, vidro, metais não ferrosos, cimento, cal e magnésio, cloro, polímeros, papel e celulose, refrigeração, óleo mineral e gás, fundições, tratamento de superfície, têxtil, produção de painéis de madeira.

Além de guias específicos para cada setor mencionado, o IPPC também elaborou os seguintes Guias comuns à várias indústrias, principalmente quanto às atividades de utilidades e Guia dedicado à análise de viabilidade técnica e econômica e efeitos cruzados (EC, 2012b):

- a) emissões por armazenagens;
- b) eficiência energética;
- c) plantas de grande combustão;
- d) tratamento de resíduos;
- e) incineração de resíduos;
- f) efeitos econômicos e cruzados;
- g) monitoramento de emissões de ar e água em indústrias.

Os BREFs apresentam estrutura padrão dos documentos contendo informações que são revisadas com frequência, devido aos novos desenvolvimentos de tecnologias e alterações de procedimentos operacionais de processo e engenharia. Trata-se de um banco de dados de referência para a agência ambiental europeia e para a indústria, com medidas passíveis de aprovação em licenciamentos. No geral, a estrutura de capítulos dos BREFs é composta por:

- a) informações gerais;
- b) descrição de processos produtivos e atividades afetas ao setor industrial;
- c) levantamento de consumos e emissões relevantes por tipo de processo;
- d) técnicas a serem consideradas para a adoção de BAT, requisitos técnicos de implantação, operação e monitoramento;
- e) análise de cada tecnologia e/ou prática apontada como BAT;

Os capítulos apresentam informações gerais do setor, histórico das atividades industriais na União Europeia, tipos de produtos manufaturados pelo setor, dinâmica de mercado, dados socioeconômicos e principais aspectos ambientais relacionados às atividades.

A descrição dos processos industriais se apresenta de forma detalhada, incluindo os aspectos ambientais relevantes de cada atividade, quanto ao consumo de insumos e emissões para os compartimentos água, ar, solo, além dos aspectos de ruído e odor, quando aplicáveis.

Cada BREF indica os tipos de BAT, incluindo práticas ambientais não técnicas, que podem ser utilizadas em processos que apresentam aspectos ambientais relevantes, juntamente com análise de cada proposta, com o seguinte conteúdo (EC, 2012a):

- a) descrição da aplicação da BAT de acordo com as principais questões ambientais afetas à atividade;
- b) detalhamento do funcionamento da BAT para endereçar os aspectos ambientais relevantes da atividade;
- c) benefícios ambientais que podem ser atingidos;
- d) dados de operação e melhores performances de BAT, com indicadores, que podem ser também uma referência para processos implantados que buscam comparativos;
- e) efeitos cruzados de adoção da técnica, como aumento do consumo de energia, água, por exemplo;
- f) avaliação econômica, contendo magnitude de custos de implantação e operação para atender a melhor performance da BAT, utilizando como guia o BREF sobre “Efeitos Econômicos e Efeitos Cruzados”;
- g) benefícios, em geral, que podem ser obtidos com a implantação da técnica;
- h) exemplos de plantas, quando existentes, que se utilizam das técnicas;
- i) referência bibliográfica.

4.10.2.2.1 Efeitos Econômicos e Efeitos Cruzados

É documento de referência que estabelece uma série de metodologias para auxílio na tomada de decisão sobre a tecnologia e/ou prática ambiental que trará a maior proteção ao meio ambiente, considerando sua viabilidade técnica e econômica de implantação (EC, 2012b).

O BREF “Efeitos Econômicos e Efeitos Cruzados” apresenta divisão de capítulos de acordo com cada elemento a ser avaliado, posteriormente unindo os

dados, para a avaliação final de viabilidade de implantação de determinada BAT/BEP.

Para a análise de efeitos cruzados ambientais da alternativa de BAT/BEP proposta, o BREF indica diretrizes, entre os Guias 1 e 4 descritos no próprio documento, para a análise de aspectos intrínsecos à tecnologia e/ou práticas como consumo de insumos, energia e geração de resíduos, ponderando-se os potenciais impactos ou efeitos que podem ocorrer, devido à adoção como: toxicidade humana e em meio aquático, aquecimento global, acidificação, eutrofização, formação de ozônio fotoquímico, depleção da camada de ozônio (Figura 17).

Figura 17 – Estrutura de guias para a análise de Efeitos Cruzados, segundo o Guia de Efeitos Econômicos e Efeitos Cruzados da União Europeia.

Extraído de: EC (2012b, adaptado).

A definição do escopo e identidade das opções de BAT/ BEP, previstas no Guia 1 do documento, deve considerar o local de instalação de equipamento e características do processo de geração de emissões a ser influenciado. No documento, há destaque para os tipos de tecnologias e técnicas que podem ser consideradas BAT/ BEP:

- a) reengenharia, por meio da troca de equipamentos por sistemas com menores emissões;
- b) matérias primas e insumos que promovam a menor geração de poluentes atmosféricos, além de água e solo;
- c) otimização de processos industriais;

- d) medidas de manutenção preventiva e corretiva;
- e) medidas não técnicas como sistema de gestão ambiental, treinamentos (BEP, segundo a OCDE);
- f) tecnologias de fim de tubo para abatimento de poluentes: incineradores, sistemas de tratamento de água e efluente, entre outros.

Segundo o Guia 2 do BREF, o passo seguinte é realizar um diagnóstico, iniciando com inventário de consumos (matérias primas, energia elétrica, água, gases refrigerantes e outros) e emissões para água, ar e solo, de forma a haver uma mensuração da magnitude dos efeitos ambientais, que podem ocorrer, com a adoção da tecnologia e prática ambiental.

O Guia 3 apresenta diretrizes para auxílio no cálculo dos efeitos potenciais referentes à nova inserção ou acréscimo de substâncias presentes nas atividades produtivas, sem avaliar outros fatores que propiciam a consolidação do efeito, que para ser de fato determinado, necessitaria de avaliações mais aprofundadas, quando necessário:

- a) toxicidade humana, relacionada à exposição dos trabalhadores da planta industrial às novas ou quantidades maiores de substâncias já existentes;
- b) aquecimento global, por meio da geração de gases de efeito estufa;
- c) toxicidade aquática, devido à emissão de substâncias com potencial de causar alterações em meios aquáticos;
- d) acidificação, devido à geração de gases que apresentam potencialidade de causar efeitos ácidos ao meio;
- e) eutrofização, considerando a geração de substâncias que apresentam potencialidade de causar eutrofização;

- f) depleção da camada de ozônio, pela utilização de substâncias reguladas pelo Protocolo de Montreal;
- g) potencial de criação de ozônio por meio de reações fotoquímicas.

Com os dados indicados no Guia 3, o Guia 4 direciona para a avaliação preliminar dos efeitos cruzados de forma a mensurar se os efeitos potenciais seriam aceitáveis, considerando caso a caso, quanto à existência de medidas de prevenção, mitigação, controle de exposição, de forma a reduzir o potencial de ocorrência dos impactos.

Considerações sugeridas pelo BREF:

- a) avaliação da relevância da quantidade e efeitos potenciais que podem ocorrer, comparando-se com padrões e referências existentes ou outros processos considerados como exemplo;
- b) análise do meio em que a tecnologia e/ ou prática serão inseridos, de forma a não potencializar sua redução de qualidade;
- c) presença de receptores sensíveis;
- d) verificação da temporalidade de possíveis efeitos, se são de curto, médio ou longo prazo;
- e) características toxicológicas das substâncias: persistência, biopersistência, carcinogênese.

Já para a análise de custo da adoção da tecnologia e/ ou práticas, o BREF estabelece diretrizes, entre os Guias 5 e 9 do documento, para levantamento de custos associados a investimentos, operação e manutenção da BAT, além de aspectos que afetam diretamente às atividades produtivas, como impactos mercadológicos, estruturais da planta industrial, resiliência e velocidade de

implementação da técnica, para assim se obter o cálculo do custo total anual (Figura 18).

Figura 18 – Metodologia de análise de custo, segundo o Guia de Efeitos Econômicos e Efeitos Cruzados da União Europeia.

Extraído de: EC (2012b, adaptado).

O Guia 5 define a necessidade de estabelecimento de escopo, assim como para análise de efeito cruzado, desde que possível identificar os elementos que compõem o cálculo do custo da BAT/BEP em análise.

A Comissão Europeia (2012b) ressalta no BREF a importância da validação de dados obtidos para cálculo do custo, de forma que haja o menor erro possível, sendo necessário documentar incertezas identificadas, considerando fatores importantes como:

- a) representatividade dos dados;
- b) indicação de custo por BAT, determinando o ano específico da base de cálculo;
- c) utilização de dados o mais recentes possível;
- d) disponibilização de valores de conversão de moeda adotados.

O Guia 7 apresenta os elementos que compõem os custos de implementação e operação da BAT/ BEP:

- a) custos de instalação- compra de projeto, terra, preparo da planta, prédios, mão de obra, testes de performance, *start-up*, descomissionamentos;
- b) custos de equipamentos de controle da poluição- compra do equipamento e auxiliares, instrumentação, frete, alterações necessárias em outros equipamentos, planos de contingência;
- c) custos de operação e manutenção- energia, materiais de operação, mão de obra direta e indireta, seguro, licenças, provisões de emergência;
- d) custos revertidos- venda de efluente, resíduo gerado e custos evitados pela redução de uso de matéria prima, energia, mão de obra, monitoramento, manutenção de sistema, disposição de resíduos;
- e) custos reportados em separado- recomenda-se a não inserção de valores relacionados a custos indiretos, taxas e custos externos, benefício social, que estão em fase de aperfeiçoamento de metodologia pela União Europeia, utilizando-se uma visão mais holística de política pública, para gerar menos incertezas.

Mediante aos levantamentos de custos realizados pelos Guias de 5 a 8, o Guia 9 indica ressalvas, para que o custo de proteção ambiental seja apresentado de forma separada, sendo composto de custos que de fato estejam associados à prevenção e redução da poluição, sem considerar resultados de melhoria de emissões, por exemplo, que foram obtidos devido à alteração de produção, frente ao atendimento às demandas de consumidor.

Finalizados os cálculos de custo da implantação e operação da tecnologia e/ou práticas e também da magnitude dos efeitos ambientais, a metodologia de consolidação dos dados para definição da BAT/BEP mais custo-efetiva é descrita no Capítulo 4 do Guia de Efeitos Econômicos e Efeitos Cruzados, objetivando identificar o maior valor (benefícios ambientais) para o recurso financeiro investido (Figura 19).

Figura 19 – Avaliação de alternativas de BAT/BEP, de acordo com o guia de Efeitos Econômicos e Efeitos Cruzados da União Europeia.

Extraído de: EC (2012b, adaptado).

O documento indica que o cálculo do custo-efetividade é mais simples que o cálculo de custo-benefício, pois há variáveis qualitativas ambientais que não são valoradas facilmente.

A análise de custo-efetividade além de considerar o valor do investimento, operação e manutenção, custos de proteção ambiental, também observará as tendências positivas ou não de efeitos ambientais identificados, mediante procedimentos sugeridos nos Guias 1 a 4, que não são monetizadas devido à sua complexidade e incerteza.

Uma das formas de se comparar o custo-efetividade entre BAT/BEP é utilizar o indicador descrito no Guia de abatimento do poluente do próprio IPPC, de acordo com o setor industrial em que é gerado.

Como forma de consolidação e apresentação dos dados, o IPPC recomenda a divisão dos custos entre poluentes.

Após a definição da análise de custo-efetividade da implementação e operação da BAT/ BEP, o Capítulo 5 consolida as informações juntamente com outros elementos para a determinação da viabilidade econômica na indústria, conforme preconiza a Diretiva Europeia nº 2010/75/EU ao definir *Best Available Technique*.

Para a análise de viabilidade, além do custo-efetividade, quatro fatores de impacto direto nos negócios devem ser considerados:

- a) estrutura da indústria- indica a necessidade de avaliação de aspectos socioeconômicos (ex: número de empregos gerados ou eliminados) afetos à planta, em que ocorrerá a implantação da BAT e características físicas de instalação, tamanho e número de plantas no setor, infraestrutura existente, tempo de vida dos equipamentos, barreiras comerciais para entrar e sair do setor;

- b) estrutura de marketing- avaliação da habilidade da indústria em repassar os custos das modificações de processo para seu consumidor e qual seria o impacto em relação às vendas, considerando o tamanho de seu mercado consumidor, sua sensibilidade em relação ao repasse de custos e impactos na competitividade;
- c) teoria de Porter sobre as cinco forças do marketing: concorrência entre empresas existentes, poder de barganha com fornecedores, poder de barganha com compradores, ameaça do consumidor em substituir o produto que aumentou seu preço e ameaça de novos concorrentes no mercado;
- d) resiliência- habilidade de a indústria absorver os aumentos de custos de produção em curto, médio e longo prazo, pode ser medida por meio de variáveis como liquidez, solvência e lucratividade;
- e) velocidade de implementação da BAT – relacionada ao prazo para implementação da tecnologia e/ou técnica que impacta diretamente no fluxo de caixa da indústria ou na necessidade de paralisação das operações por um período que não seria sustentável economicamente;

Segundo a Comissão Europeia (2012b), a análise de viabilidade econômica não é simples de ser realizada, portanto deve ser aprofundada mediante dúvidas quanto à sustentabilidade da exigência de implementação de BAT, auxiliando o tomador de decisão na “determinação de combinações ótimas de tecnologias ou técnicas, que possam entregar um alto nível de proteção ao meio ambiente sem colocar em perigo a viabilidade econômica”.

4.10.2.3 Região Metropolitana de São Paulo

Em São Paulo não há procedimentos oficiais, reconhecidos pelos administradores da qualidade do ar, que auxiliem a avaliação de viabilidade técnica e econômica de implementação de BAT/BEP para abatimento de material particulado.

Em consulta a estudos que embasaram políticas públicas no estado de São Paulo, com foco em redução de material particulado, foi possível identificar trabalhos realizados nas décadas de 70 e 80, que continham elementos para auxílio à tomada de decisão.

Dentre os trabalhos realizados, destaca-se o estabelecimento de limites de emissão para material particulado na RMSP, na década de 70, em virtude da alta concentração do poluente na atmosfera e estudo do custo-efetividade de medidas de abatimento de SO₂, na década de 80.

Em trabalho apresentado em 1979 no 10º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), Licco et al. (1979) descrevem estudos realizados visando determinar ações de controle e redução de emissões de fontes fixas, de acordo com a determinação da proporção de suas emissões, que, juntamente com as emissões veiculares, alteravam a qualidade do ar, para o poluente material particulado na RMSP.

Segundo os autores, a verificação da relação de emissão de poluentes *versus* concentração no ambiente dependia de alguns parâmetros que poderiam ser modelados de forma complexa, porém se optou por utilizar um modelo mais simples, que posteriormente teria a verificação de seus resultados em campo, para reduzir incertezas.

Desta forma, utilizou-se o “modelo proporcional”, que considera uma relação linear entre o total de emissão de fontes fixas e móveis, em uma determinada região e as concentrações máximas no ambiente, que podem ser maiores ou menores que o PQA.

Assim as etapas do trabalho consistiram em:

- a) cálculo da emissão total de MP, proveniente de fontes fixas e móveis, obtida por meio de inventários da Cetesb;
- b) cálculo do acréscimo das emissões em função do tempo, considerando-se um crescimento das fontes emissoras de 5,5% a.a. nos dez anos seguintes;

- c) cálculo de redução das fontes emissoras, considerando-se a taxa de crescimento previamente estipulada, as concentrações proporcionais dos períodos a serem estudados (medida e projetada) e PQA vigente.

Com a determinação da quantidade a ser emitida em tonelada/dia para atender ao PQA vigente, projetou-se a porcentagem de emissão referente às fontes fixas em 13 anos, priorizando-se ações em fontes que, em conjunto, representavam 97% das emissões brutas. O trabalho apresentado também demonstra o cálculo de padrões de emissão setoriais, por meio da majoração entre o tipo de fonte, atividade e capacidade nominal.

Em continuidade aos estudos de controle de emissões na RMSP, em 1982, o Programa de Controle de Dióxido de Enxofre foi criado pelo órgão ambiental paulista, Cetesb (ASSUNÇÃO et al., 1985), motivado a desenvolver novos trabalhos que visassem à redução e poluente e neste caso, também para avaliar o custo-efetividade de ações propostas.

Nesse período, o Brasil encontrava-se em forte crescimento, a RMSP apresentava contínuo aumento de atividades geradoras de poluentes atmosféricos, por meio de fontes fixas e móveis, que causavam ultrapassagens frequentes do padrão de qualidade do ar, para SO₂, além de causar incômodo à população próxima às fontes emissoras.

O objetivo do programa foi de reduzir em 66% as emissões de SO₂ até 1985 (ASSUNÇÃO et al., 1985).

Desta forma, para atendimento do objetivo do programa, foram realizados estudos aprofundados para mapeamento e comportamento das fontes emissoras, bem como sua significância e avaliação de impacto econômico. Segundo Assunção et al. (1982) “para o conhecimento da distribuição dos custos de controle das diversas empresas [...] para auxiliar na tomada de decisão pelo administrador do referido programa”.

O trabalho considerou as seguintes etapas e metodologia:

- a) levantamento dos sistemas de controle de SO₂ existentes no mercado e suas características técnicas (operação, manutenção e eficiência), focando em lavadores de gases;
- b) levantamento de informações quanto aos custos de aquisição, instalação, operação e manutenção de sistemas de controle de SO₂, correspondendo a:
 - custo de implantação: estimativa de custo em relação ao consumo de combustível;
 - custo de operação: energia elétrica, reagente, mão de obra, água e disposição de resíduos;
 - custo de manutenção: porcentagem em relação ao custo total do sistema.
- c) estimativa do custo total de controle de SO₂;
- d) levantamento do custo de produção e outras informações das empresas constantes no programa;
- e) avaliação do impacto do controle de SO₂ no custo de produção das empresas.

De acordo com as informações fornecidas pelas indústrias em estudo e pelos levantamentos realizados pelos autores, foi possível determinar o custo de controle de SO₂/ por tonelada abatida e também por custo de produção de cada empresa.

Segundo os autores, os resultados obtidos permitiram a realização de comparação entre indústrias, a obtenção de uma média de custo de abatimento de SO₂ na RMSP e a consolidação do custo total de controle de SO₂ da região, por meio da avaliação de um dos tipos de alternativa, lavador de gases, que correspondeu ao montante de 63 milhões de dólares.

O custo de abatimento, considerado alto, indicou a necessidade de ações quanto à busca de alternativas de projeto ou de tecnologia mais custo-efetivas,

desta forma representando um estudo de grande contribuição à tomada de decisão, em vista da realização de ações concretas para a melhoria da qualidade do ar.

Em 2013, o Decreto estadual 59.113/2013 determinou ao órgão ambiental o “acompanhamento das melhores práticas nacionais ou internacionais para a melhoria da qualidade do ar e o estudo de viabilidade de implantação dessas práticas no Estado de São Paulo”.

Porém, conforme levantamentos realizados, foram definidas pela Cetesb as “Melhores Tecnologias Práticas Disponíveis (MTPD)”, de acordo com guia publicado em 2017, por meio da Decisão de Diretoria Cetesb nº 133/ 2017/C (CETESB, 2017), mas sem apresentar análise de viabilidade de implantação.

Segundo o Decreto estadual nº59.113/ 2013 e PREFE-2014, as MTPDs poderão ser solicitadas em processos de licenciamento, nas seguintes condições:

- a) fontes existentes: durante o processo de renovação da licença, de empreendimentos selecionados pela Cetesb, por meio de diagnóstico realizado das empresas elencadas no anexo D do PREFE-2014;
- b) fontes novas e ampliação de fontes existentes:
 - quando o empreendimento localizar-se em regiões em que a qualidade do ar estiver classificada como “acima de M1” e as emissões forem superiores às referências indicadas no artigo 12 do Decreto estadual 59.113/2013 (para MP o valor de referência é de 100 t/ ano), a Cetesb exigirá 110% de compensação da emissão adicionada e a tecnologia a ser utilizada deverá emitir os menores níveis atingíveis para o poluente;
 - quando o empreendimento localizar-se em regiões em que a qualidade do ar estiver classificada como “M2, M3 ou M4”, poderá ser requerida a MTPD para processos produtivos e equipamentos de controle.

Indicado como uma referência, não única, para a tomada de decisão, quanto à escolha da melhor medida técnica ou não técnica, o Guia de MTPD da Cetesb preconiza que haja a análise de “viabilidade” para adoção das medidas descritas, porém não apresenta procedimentos ou recomendações de métodos para realizá-la.

Cada capítulo do Guia de MTPD, dedicado a um dos setores industriais abrangidos, apresenta a descrição do processo que contem a(s) fonte(s) geradora(s) de poluentes, as melhores tecnologias práticas disponíveis (equipamentos de controle de emissão e de processos), legislações aplicáveis, frequência e tipo de monitoramento requerido.

As atividades que compõem o Guia de MTPD da Cetesb, estão elencadas a seguir, cabendo ressaltar que para todas há indicação de tecnologias e práticas para redução de emissão de material particulado:

- a) automobilística- Atividades de pintura;
- b) fontes de combustão;
- c) fertilizantes;
- d) papel e celulose;
- e) indústria química e petroquímica;
- f) refinarias de petróleo e calcinação de coque;
- g) siderurgia e metalúrgica;
- h) tratamento de superfície;
- i) produção de vidro.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO

5.1 ORIGENS DO MP₁₀ NAS REGIÕES ESTUDADAS

Considerando a revisão bibliográfica e documental realizada e análise do histórico das medições de qualidade do ar para MP₁₀ nos EUA, União Europeia e RMSP, nota-se característica comum quanto à tendência de redução das concentrações de MP₁₀, de fato resultante das medidas aplicadas nos três casos, que se iniciaram, em geral, nas décadas de 1960 – 1970, devido a episódios críticos de poluição, que ocorreram naquelas jurisdições.

Entre as medidas adotadas nas três regiões em estudo, destacam-se as metas de redução de poluentes resultantes da queima de combustível de veículos automotores, metas de dessulfurização de combustíveis e programas de inspeção e manutenção de veículos, sendo essas fontes as maiores responsáveis pela emissão de partículas finas (MP_{2,5}), um componente do MP₁₀.

As partículas finas têm participação importante de partículas formadas pelas reações secundárias que ocorrem na atmosfera. Portanto, necessitam de investigações mais aprofundadas para melhor entendimento de sua origem e definição de medida viável para seu abatimento, em vista da complexidade de sua formação.

Em que pese à relevância para a saúde, frente aos riscos de exposição a MP_{2,5}, este poluente não foi o foco do trabalho pois, conforme estimativa de emissões na RMSP, apresentada no Relatório de Qualidade do ar da Cetesb (2018), a indústria não possui parcela representativa de emissão quanto a esse poluente, conforme demonstra a Figura 7.

Em relação ao MP₁₀, presente na atmosfera, a parcela correspondente às emissões industriais na RMSP corresponde a 10%. Trata-se de partículas em geral provenientes da queima de combustíveis com finalidade de aquecimento, geração de vapor e energia e alguns processos produtivos.

5.2 AVALIAÇÃO DE MEDIDAS ADOTADAS PARA GERENCIAMENTO DE MP NA RMSP

Mesmo havendo regulações e limites de emissão para as fontes fixas, o Plano de Redução de Emissões de Fontes Estacionárias de 2014, PREFE-2014 (CETESB, 2014) especifica meta para melhoria da qualidade do ar, frente ao parâmetro MP, tanto para as fontes fixas como para as fontes móveis.

Segundo o PREFE- 2014, na Região de Controle 01, basicamente RMSP, a meta referente à redução de material particulado na atmosfera, proveniente de fontes fixas, para atendimento da meta intermediária 1 (MI1) de PQA, é de 4,8%, sendo o mesmo valor para fontes móveis, por decisão do órgão ambiental.

Conforme mencionado anteriormente, a meta de redução foi concebida em relação à porcentagem que representa a diferença entre o valor do PQA vigente, correspondente à meta MI1 do Decreto 59.113/ 2013, e o valor real, calculado por meio da média anual de três anos (2010 a 2012) dos valores medidos na estação de monitoramento de São Caetano do Sul.

Em seguida, foi aplicada a porcentagem obtida em relação à diferença entre o PQA e a média anual, de 4,8%, de forma direta, sobre o total de emissão de MP estimada no inventário de fontes fixas de 2008. Com isso, obteve-se a emissão total a ser reduzida de MP na RMSP (Quadro 11). Ressalte-se que o MP considerado no inventário inclui também partículas acima de MP₁₀.

Quadro 11- Resumo das metas de emissão de MP de fontes fixas e móveis na RC-01.

Fontes		MP
Fontes Móveis	Emissão (t/ano)	1.379
	% de redução	4,8
	Redução (t/ano)	66
Fontes Fixas	Emissão (t/ano)	3.657
	% de redução	4,8
	Redução (t/ano)	176
Total	Emissão (t/ano)	5.036
	Redução (t/ano)	242

Extraído de: CETESB (2014, adaptado).

De acordo com o PREFE-2014, as necessidades de redução apresentadas no Quadro 11 levaram ao estabelecimento de ações de controle específicas do órgão ambiental, que consideraram os empreendimentos listados em seu anexo D, chamados de “elencados no PREFE”.

Dentre as ações de controle, destaca-se a exigência de instalação de Melhor Tecnologia Prática Disponível (MTPD), que ocorrerá nos processos de licenciamento de fontes novas e existentes, conforme descrito no item 7.2 do PREFE-2014.

Considerando as recomendações mínimas da OMS, práticas nos EUA e União Europeia e, sabendo-se que a concentração dos poluentes na atmosfera depende da quantidade emitida e da qualidade do ar, devido aos processos que envolvem a formação de poluentes secundários, das condições de emissão, das condições meteorológicas, topografia da região, além de características de uso e ocupação de solo locais, a análise crítica às medidas previstas pelo PREFE-2014 leva às seguintes constatações:

- a) a meta de melhoria da qualidade do ar para a RMSP (equivalente à RC-01) foi embasada em medições da estação de monitoramento de São Caetano do Sul (SCS), que não representa a região como um todo. O município de

Araçariguama, da RC-01, por exemplo, está a aproximadamente 60 km da estação de SCS e não foi classificado com ultrapassagem do parâmetro MP, segundo Tabela A, anexo F, do PREFE-2014;

- b) a extrapolação da meta de redução de MP na RMSP (4,8%), de forma igualitária, para fontes fixas e móveis não teve justificativa técnico, considerando as diferentes influências em relação à concentração do poluente na atmosfera, bem como da dinâmica e proporcionalidade das emissões provenientes de cada fonte emissora;
- c) a simples redução de um poluente proveniente de uma fonte fixa, não significa que impactará na qualidade do ar, devido aos diferentes fatores de influência do comportamento do poluente no meio. Inclusive medidas tomadas em outras localidades podem não ter efeito na estação utilizada como referência, daí a necessidade de estudos prévios de modelagem atmosférica, para assim definir metas de redução de poluentes;
- d) informações atualizadas sobre emissão das fontes e qualidade do ar são importantes para aumentar a probabilidade de eficácia das ações planejadas e implementadas pelo administrador da qualidade do ar.

Com isso, entende-se que as constatações expostas indicam algumas imprecisões quanto à efetividade das ações, visando à melhoria da qualidade do ar, não somente para MP, mas também para outros poluentes na RMSP. Portanto, sinalizando que o primeiro passo para a indústria realizar a implantação de BAT/BEP, quando solicitada, é entender juntamente com o administrador da qualidade do ar, qual é o contexto e resultados de estudos técnicos e custo-efetividade, que levaram a tal solicitação.

Se a solicitação estiver justificada, a análise de viabilidade técnica e econômica de implantação de BAT/BEP seria aplicável, para não haver investimentos que não auxiliarão na melhoria da qualidade do ar.

5.3 COMPAÇÃO ENTRE INSTRUMENTOS DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA GESTÃO DA QUALIDADE DO AR

As estratégias adotadas, para a gestão da qualidade do ar estudadas nos EUA, União Europeia e RMSP denotaram alguns aspectos semelhantes, como a existência de planos e programas para gestão da qualidade do ar, limites de emissão para fontes móveis e fixas.

Desta forma, para melhor compreensão das medidas analisadas, compararam-se os planos e programas das três regiões, com foco em aspectos que podem ter como reflexo a exigência da implementação de BAT/BEP pela indústria e, consequentemente, a necessidade de realização da análise de viabilidade técnica e econômica de sua implantação.

Os aspectos gerais identificados estão descritos no Quadro 12, de forma comparativa, evidenciando que há vários instrumentos comuns às três regiões estudadas como:

- a) programas de controle de emissões;
- b) limites de emissão para fontes fixas e móveis;
- c) guias contendo recomendações de BAT/BEP;
- d) monitoramento da qualidade do ar;
- e) publicação de índice da qualidade do ar.

Entretanto, para a RMSP ou mesmo extrapolando para o estado de São Paulo, visto que as normas legais de impacto na qualidade do ar, que incidem sob a RMSP, são majoritariamente promulgadas em âmbito estadual, verifica-se que há

itens de planejamento de política pública de impacto às fontes fixas e móveis que não foram identificados, como:

- a) avaliação de custo-efetividade de melhoria da qualidade do ar em relação às ações previstas por plano de controle de emissão (PCE);
- b) utilização de modelagens atmosféricas, como de qualidade do ar, dispersão, fotoquímicas, para a definição de medidas estratégicas do PCE;
- c) indicação de metodologias de avaliação de viabilidade de implantação de BAT/BEP;
- d) participação de partes interessadas na elaboração de planos de controle de emissões.

São aspectos ausentes na RMSP, que são considerados de grande importância, de acordo com as diretrizes de normas legais nos EUA e União Europeia, que preveem a consideração destes aspectos, pois implicam diretamente na eficácia das ações de proteção à saúde e meio ambiente, que devem ser realizadas de forma viável técnica e economicamente (MIRANDA et al., 2015).

Quadro 12 - Comparativo de instrumentos de políticas públicas de qualidade do ar.

Aspectos	RMSP	EUA	União Europeia
Políticas, Programas Nacionais/ Regionais	PRONAR PCE ¹ de SP	<i>Clean Air Act</i> (Lei do Ar Limpo)	<i>Clean Air For Europe</i> - CAFE (Ar limpo para Europa)
Limites de emissão para fontes fixas	Res. Conama 382/2006 e 436/2011 Decreto 8.468/1976 Licenças de Operação	<i>State Implementation Plan</i> - SIP Licenças de Operação	Diretiva 2010/75/EC Diretiva 2015/ 2193
Limites de emissão veicular	PROCONVE PROMOT	40 CFR- <i>Code of Federal Regulations</i>	Regulação EC nº715/2007 Regulação EC nº 595/ 2009
Programa de inspeção e manutenção veicular implementados	Tem normativas, mas não estão em processo de implementação	40 CFR- <i>Code of Federal Regulations</i>	Diretiva 715/2007
Plano de Emergência para episódios críticos de poluição	Decreto 59.113/2013	<i>Clean Air Act</i>	Diretiva 2008/50/EC
Monitoramento da Qualidade do Ar	Realizado	Realizado	Realizado
Inventário de fontes fixas	Realizado.Encontra-se desatualizado. Dados majoritariamente de 2008	Realizado. Dados de 2014	Realizado. Dados de 2016
Utilização de modelagem atmosférica para definição de medidas dos PCE ¹	Não realiza	Realiza	Realiza
Análise de custo-efetividade de políticas públicas de qualidade do ar	Não há	<i>Clean Air Act</i>	Diretiva 2008/50/EC
Guia técnico com recomendações de BAT/BEP para indústria	Guia de MTPD-Cetesb	<i>Control Cost Manual e banco de dados online do RACT/BACT/LAER Clearinghouse</i>	Guias do IPPC ² Diretiva 2010/75/EC
Guia para realização de análise de viabilidade técnica e econômica de BAT/BEP	Não há	<i>Control Cost Manual</i> -USEPA	<i>Economic and cross-media effects</i> –IPPC
Índice de Qualidade do Ar	Sim	Sim	Sim
Definição de PCE com envolvimento de partes interessadas	Não há	Sim	Sim

Notas: ¹ PCE- Plano de Controle de Emissões. ² IPPC- *Integrated Prevention and Pollution Control*. Programa da União Europeia para definição e recomendação de BAT/ BEP conforme Diretiva 2010/75/EC.

Extraído de: Elaboração própria.

5.4 ANÁLISE DAS POLÍTICAS PÚBLICAS DE QUALIDADE DO AR

Conforme revisão bibliográfica e documental realizada, depreende-se que as regiões estudadas, EUA e União Europeia, em geral, antes de definir a necessidade de implantação de BAT/BEP, em fontes fixas, consideram análises de custo-efetividade de seus programas e planos de qualidade do ar, conferindo transparência e ações assertivas para a melhoria da qualidade do ar.

As informações e análise crítica dos resultados das medidas propostas, de melhoria da qualidade do ar, dos casos estudados, são publicadas periodicamente, por meio de relatórios disponibilizados em *websites* das agências ambientais, sendo compostos por elementos indicados no Quadro 13, que em geral, compõem as análises de custo-efetividade e custo-benefício descritas.

Mesmo havendo incertezas tanto na determinação de custo-efetividade, quanto ainda maior do cálculo de custo-benefício, ambos são indicadores que influenciam na alteração de políticas e otimização de recursos, em vista de se focar no que de fato trará resultados expressivos.

Nos EUA, os relatórios periódicos de análise dos resultados obtidos, por meio da implantação de medidas previstas pelo *Clean Air Act*, demonstram a eficácia das ações adotadas, quanto à melhoria da qualidade do ar, bem como na evolução para o atendimento dos padrões nacionais (NAAQS). Também apresentam bons resultados, quanto à melhoria da saúde e bem-estar da população americana, em que pese, assim como na União Europeia, os relatórios elaborados tenham apontado incertezas na valoração dos custos-benefícios.

Mediante as análises, que indicam resultados positivos da implementação da política de qualidade do ar americana, desde 1990, não foi necessário realizar mais emendas e revisões ao *Clean Air Act*, havendo de forma periódica a reavaliação dos padrões de qualidade do ar do país, de acordo com os avanços científicos e estudos realizados, pela USEPA, quanto aos efeitos à saúde e meio ambiente, frente à exposição aos poluentes.

Na União Europeia, as análises de custo-efetividade, realizadas por meio da utilização de modelagem de análise integrada, motivaram o estabelecimento do *Clean Air for Europe- CAFE*, como um esforço premente, visando à adoção de novas diretrizes e medidas de controle em relação à emissão de poluentes. As medidas foram estipuladas em âmbito nacional e internacional, como a revisão e repartição modelada das metas do Protocolo de Gotemburgo, para maior garantia de atendimento ao que de fato era devido aos signatários.

Os principais elementos, que compuseram as análises críticas das políticas de qualidade do ar, por EUA e União Europeia, foram reunidos de forma comparativa no Quadro 13. Eles evidenciam a utilização de práticas comuns em regiões com complexidades semelhantes à RMSP.

Assim, estes elementos podem, também, ser considerados para aplicação na RMSP e no estado de São Paulo, visando à realização de análise crítica das ações executadas frente às políticas públicas para a gestão da qualidade do ar.

Quadro 13 – Elementos que compõem a análise crítica de ações implementadas nos EUA e União Europeia, de acordo com políticas públicas de qualidade do ar.

Elementos	Estados Unidos	União Europeia
REALIZAÇÃO DE ANÁLISE CRÍTICA PELO ADMINISTRADOR DA QUALIDADE DO AR EXIGIDA LEGALMENTE	SIM	SIM
ANÁLISE DE CUSTO-EFETIVIDADE DAS AÇÕES		
Modelagem de qualidade do ar	SIM	SIM
Modelo de Equilíbrio Geral	SIM	SIM
Modelagem de Análise Integrada	SIM	SIM
Estimativa de custo direto de abatimento de emissões	SIM	SIM
Impacto no PIB	SIM	SIM
ANÁLISE DE CUSTO-BENEFÍCIO DAS AÇÕES		
Estimativa e valoração de efeitos à saúde	SIM	SIM
Estimativa e valoração de efeitos à qualidade de vida	SIM	NÃO
Estimativa e valoração de efeitos ao meio ambiente	SIM	SIM
ANÁLISE QUANTITATIVA DE INCERTEZAS	SIM	NÃO

Extraído de: Elaboração própria.

5.5 VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE BAT/ BEP

Quando necessária à adoção de BAT/ BEP pela indústria, a abordagem de custo é apontada como medida estratégica e exigida tanto em requisitos de legislações, quanto em documentos oficiais de governo dos EUA e União Europeia, constituindo parte da análise de viabilidade de implementação da tecnologia, técnica ou prática ambiental.

Os documentos oficiais produzidos, nos EUA e União Europeia, com diretrizes para a realização de análise de viabilidade técnica e econômica, são concebidos por meio do trabalho de grupos multidisciplinares formados por especialistas em

tecnologia de cada setor em análise, representantes da indústria, governo e sociedade civil, em debates técnicos com embasamento científico e considerando as necessidades das partes interessadas.

São documentos que, em geral, apresentam as descrições de BAT/BEP e formas de calcular seus custos de implantação, operação e manutenção, além de ferramentas e bancos de dados disponibilizados para o público, com vistas às pesquisas e estudos de qualidade do ar.

5.5.1 Estados Unidos da América

A requisição da consideração de custo nas análises de adoção de BAT/BEP é proveniente do *Clean Air Act*, adotando-se uma abordagem tecnológica, com vistas a três aspectos principais: a qualidade do ar (se atende ou não ao PQA vigente), estruturas novas ou existentes e relevância da emissão, ampliando a definição de BAT, para BACT, LAER e RACT, no âmbito do programa de licenciamento denominado de *New Source Review* (NSR).

A aplicação dos conceitos adotados, pelo NSR, por parte das agências ambientais nos licenciamentos, se dá mediante aos aspectos principais descritos e análises “caso a caso”.

As análises pontuais, por um lado podem trazer incertezas, quanto à tomada de decisão e, conseqüentemente, insegurança para o planejamento de ampliações industriais, mas são minimizadas, de forma transparente, pela utilização de banco de dados denominado de RACT/BACT/LAER *Clearinghouse* (RBLC *database*), utilizado como referência, pelos administradores da qualidade do ar, pois contém registros de BAT/BEP de fontes de emissão já licenciadas, segundo o NSR.

O acesso ao banco de dados é aberto ao público, por onde se podem obter dados referentes à localização de fontes, setor industrial abrangido, limites de emissão aplicados, tipo de tecnologia, técnica e prática adotada, sem expor dados confidenciais, que poderiam prejudicar a concorrência entre as indústrias.

O banco de dados RBLC também registra resultados de análise de custo-efetividade das medidas adotadas (dólar por tonelada abatida), porém não sendo um parâmetro obrigatório de preenchimento.

Outro banco de dados, também público, da USEPA, denominado de Menu de Controle de Medidas (do inglês *Menu of Control Measures*-MCM), apresenta referências de custo-efetividade em dólar por tonelada abatida de poluente, de acordo com o setor industrial, tipo de poluente e BAT/BEP adotada.

O Manual de Controle de Custo da Poluição possui tecnologias divididas por poluente controlado. No caso do abatimento de material particulado, apresenta três tecnologias padrão (lavador de gases, filtro de mangas e precipitador eletrostático) e segundo indústrias usuárias, descreve as questões técnicas e variáveis de custo de forma extensa, provenientes de estudos do Centro de Tecnologia para Ar Limpo da USEPA, representando mais uma ferramenta para auxílio nas tomadas de decisão.

5.5.2 União Europeia

A gestão da qualidade do ar, com vistas à adoção de BAT/BEP na União Europeia, quando necessária, é objeto principalmente da Diretiva nº 2010/75/EU sobre emissões industriais, que considera a importância de se endereçar a viabilidade técnica econômica, efeitos cruzados entre compartimentos ambientais e monitoramento, para a tomada de decisão quanto à implementação da medida.

Neste sentido, fez-se necessária a criação de Guias de BAT/BEP, para que tanto a indústria, quanto os administradores da qualidade do ar tenham referências de tecnologias, técnicas e práticas, para auxiliar na tomada de decisão, considerando sua viabilidade técnica e econômica de implementação.

Os primeiros guias datam de 2001, após a criação do IPPC em 1996. São divididos de forma setorial, para as principais atividades industriais e não industriais geradoras de emissões atmosféricas.

A construção dos guias se deu de forma participativa, exigência preconizada pela Diretiva nº 2010/75/EU, que considera também a necessidade do envolvimento de partes interessadas (fontes emissoras), como especialistas dos setores em análise, órgãos de governo e sociedade civil.

A análise de viabilidade técnica e econômica de implantação de BAT/BEP é descrita em guia específico denominado de “Efeitos Econômicos e Efeitos Cruzados”, de forma detalhada e sistemática, visando orientar à análise dos impactos de implantação da tecnologia, não somente em relação aos custos de investimento, manutenção e operação, mas também, de forma qualitativa, em relação aos efeitos cruzados, ou seja, que influenciam outros aspectos ambientais, como toxicidade humana, aquecimento global, toxicidade aquática, chuva ácida, eutrofização, depleção da camada de ozônio.

Outro aspecto de importância abordado pelo guia, na composição da análise de viabilidade, diz respeito às questões econômicas, também relacionadas à adaptação e absorção do novo custo pela indústria, de forma que a sustentabilidade de fato seja considerada por meio do equilíbrio de seus três pilares: social, ambiental e econômico.

5.5.3 Elementos identificados nos guias americano e europeu

Conforme informações obtidas, por meio da revisão dos documentos contendo procedimentos para a análise de viabilidade dos EUA e União Europeia, foi possível comparar as duas regiões, conforme Quadro 14.

Nesse sentido, nota-se que a abordagem americana de fato é focada em custos diretos e indiretos relacionados à tecnologia, já a europeia considera questões de forma mais holística, ao inserir os efeitos secundários ao meio ambiente, devido à adoção da BAT/BEP. O guia europeu também aborda aspectos de estratégia de negócio, ao se avaliar parâmetros de mercado e infraestrutura da indústria, para o recebimento das modificações propostas.

Os guias americano e europeu apresentam métodos muito semelhantes para o cálculo de custo-efetividade, em valor monetário por tonelada de poluente abatida. A questão a destacar, é que o dado obtido pode não auxiliar na tomada de decisão, quando não há um referencial de comparação para interpretar o que representa o custo para a empresa.

Há organizações que já possuem sistema de análise de custo e impacto aceitável ao negócio, portanto auxiliando a análise final para a tomada de decisão.

Nos EUA, o banco de dados do “Menu de Medidas de Controle” (do inglês, *Menu of Control Measures*, MCM) da USEPA, também contém registros de custo de abatimento de poluentes, porém não se recomenda que seja a única fonte de dados a ser consultada por usuários de outros países, devido aos diferentes custos de mão e obra e taxas incidentes na aquisição dos equipamentos, já embutidos no valor de custo-efetividade das BAT/BEP existentes no banco de dados.

Como exemplo de boa prática, nos EUA, o Centro de Tecnologia para Ar Limpo da USEPA foi criado para realizar pesquisa e publicação de informações referentes ao desenvolvimento de tecnologias de prevenção e controle da poluição, considerando custo-efetividade, viabilidade técnica e econômica de implantação. Ele também reúne informações sobre ferramentas, programas de modelagens atmosféricas e relatórios contendo a situação da qualidade do ar, disponibilizados ao público, de forma a ser mais um recurso para auxiliar administradores da qualidade do ar e indústrias, quanto à tomada de decisão e planejamento de adoção de tecnologias, técnicas e práticas.

Quadro 14 - Comparativo de elementos constantes da análise de viabilidade de implementação de BAT/BEP para MP, nos EUA e UE.

Elemento	EUA	União Europeia
Avaliação de BAT/BEP setorial	SIM	SIM
Banco de dados com exemplos de BAT/BEP implementados	SIM	NÃO
Custo de instalação, manutenção e operação de equipamentos	SIM	SIM
Anualização de custos: VPL	SIM	SIM
Análise de efeitos ambientais secundários ¹	NÃO	SIM
Estrutura industrial ²	NÃO	SIM
Estrutura de marketing ³	NÃO	SIM
Resiliência ⁴	NÃO	SIM
Velocidade de implementação da BAT/BEP	NÃO	SIM
Empregabilidade	NÃO	SIM

Notas: ¹ Efeitos ambientais secundários de adoção de BAT/BEP compreendem a: toxicidade humana, aquecimento global, toxicidade aquática, chuva ácida, eutrofização, depleção da camada de ozônio.

² A estrutura industrial compreende a análise do porte da indústria, além das condições de sua infraestrutura e idade dos equipamentos existentes para adotar BAT/BEP.

³ A estrutura de marketing consiste na capacidade do mercado absorver o aumento de custo gerado pela adoção de BAT/BEP, considerando a competitividade com concorrentes e absorção de custo pelo consumidor.

⁴ A resiliência é a capacidade de absorção do custo de implantação, manutenção e operação da BAT/BEP por um curto, médio e longo prazos, mantendo sua rentabilidade.

Extraído de: Elaboração própria.

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou verificar as metodologias e elementos presentes na concepção de políticas públicas de qualidade do ar nos EUA e União Europeia, em relação ao poluente material particulado.

O trabalho também prezou pela identificação de elementos que constituem as avaliações de viabilidade técnica e econômica para a adoção de BAT/BEP em processos industriais dos EUA e União Europeia e de realização de análise crítica da efetividade de políticas de gestão da qualidade do ar nas mesmas regiões.

Com isso, foi propor uma série de elementos que podem ser utilizados em avaliações que considerem a adoção de BAT/BEP na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), não somente para abatimento de MP, mas também para outros poluentes, principalmente ao se considerar o guia de “Efeitos Cruzados e Efeitos Econômicos” da União Europeia.

Analisaram-se também as práticas adotadas na RMSP, quanto às metas de melhoria de qualidade do ar definidas no Plano de Controle de Emissões Estadual, em especial no que se refere às fontes fixas.

Desta forma, a análise bibliográfica e documental realizada levou ao destaque das seguintes conclusões e considerações:

- a) verificou-se que a adoção de modelagens atmosféricas, em especial integradas, considerando custo-efetividade tem ocorrido nos EUA e União Europeia, para definir estratégias, visando à melhoria da qualidade do ar;
- b) o estudo de cenários para construção de diagnóstico da qualidade do ar, bem como para a simulação dos impactos de ações de controle, como as que envolvem exigências de reduções específicas de emissão, são práticas que requerem fundamentação técnica e econômica apuradas nos EUA e União Europeia;

- c) a determinação da necessidade de adoção de BAT/BEP pelas indústrias nos EUA e União Europeia é precedida por estudos e análises;
- d) a participação de partes interessadas, nos processos de elaboração de planos de controle da qualidade do ar e debates, para definir conteúdo de guias de BAT/ BEP, é preconizada em normas legais e sistematizadas pelos administradores públicos, por meio de grupos de trabalho nos EUA e União Europeia;
- e) em determinações fundamentadas, de utilização de BAT/BEP pela indústria, a análise de viabilidade técnica e econômica de implantação auxilia quanto à tomada de decisão em relação às opções a serem adotadas, de forma a facilitar o entendimento de administradores da qualidade o ar e de investidores;
- f) os guias recomendando procedimentos e metodologias para realização de análise de viabilidade técnica e econômica, dos EUA e União Europeia, são referências satisfatórias para subsidiar guias para a RMSP e também do estado de São Paulo, com a ressalva quanto à necessidade de realizar adaptações de custos específicos do Brasil, como no caso de mão de obra e taxas, por exemplo;
- g) o guia de “Efeitos Cruzados e Efeitos Econômicos” da União Europeia apresenta-se de forma simples e mais completa que o guia americano, para realizar análise de viabilidade técnica e econômica de adoção de BAT/BEP. Trata-se de análise mais holística de negócio e aspectos socioeconômicos, considerados de grande importância para a indústria, como: porte, infraestrutura para implantação da BAT/BEP, reação de mercado quanto à absorção do novo custo incidente pelo consumidor e pelo investidor, geração de emprego;
- h) as definições utilizadas no Brasil reproduzem, no geral, o conceito de Melhores Técnicas Disponíveis adotado na União Europeia, porém a definição existente para a RMSP, descrita no Guia de MTPD-Cetesb não se

encontra detalhada, conforme descrito na Diretiva 2010/75/EU, o que requer aprimoramento, principalmente quanto à consideração de aspectos de viabilidade econômica, para assim possibilitar maior efetividade na implantação e manutenção de BAT/BEP;

- i) de forma a realizar uma análise crítica de ações previstas e implementadas para a melhoria da qualidade do ar, é importante que os relatórios de análise de qualidade do ar apresentem periodicamente avaliação mais aprofundada em relação ao custo-efetividade e custo-benefício à saúde e meio ambiente;
- j) a determinação de metas de melhoria da qualidade do ar para o poluente material particulado, ou mesmo outros poluentes presentes na RMSP, requer estudos mais detalhados sobre a real contribuição de fontes fixas e móveis, em relação ao impacto na qualidade do ar, para assim determinar medidas de controle;
- k) diferentemente do que se praticou no PREFE-2014 para a RMSP, o diagnóstico para a definição de medidas, a serem adotadas para melhoria da qualidade do ar, deve considerar a área de abrangência da estação de monitoramento, sem extrapolar metas e diretrizes para toda a RMSP, como ocorreu. Além de não representar a situação da qualidade do ar a distâncias fora da área de abrangência da estação, as ações realizadas nessas condições não terão seus resultados identificados pela estação de monitoramento utilizada como referência.

Em se tratando de matéria complexa e influenciada por variáveis altamente dinâmicas, como no caso da química atmosférica, meteorologia, migração de poluentes de fontes difusas e outras, estabelecer estratégias para a melhoria da qualidade do ar é tarefa que exige diagnósticos aprofundados. Estudos do meio, fontes de emissão, comportamento dos poluentes, análise de custo-efetividade, por parte do administrador da qualidade do ar, são fundamentais para não determinar medidas ineficazes e onerosas, tanto para o sistema público, quanto privado, quando envolver troca ou aquisição de BAT/BEP ou impedimento de sua ampliação.

Essa estrutura, de coleta e tratamento de dados, demanda recursos financeiros para a implantação e manutenção de sistemas de medição, análises laboratoriais e de recursos humanos capacitados, com conhecimento técnico científico, que, dependendo da disponibilidade de orçamento, podem não ser priorizados pelos administradores da qualidade do ar.

Assim como ocorre nos EUA e União Europeia, para a definição de planos de qualidade do ar e de controle de emissão, a criação de fóruns compostos por partes interessadas, para análise sistematizada de dados e proposições de medidas fundamentadas em análises integradas, auxiliaria os administradores da qualidade do ar quanto à tomada de decisão e definição de estratégias com maior probabilidade de êxito para a melhora da qualidade do ar;

Os elementos indicados neste trabalho, tanto para concepção de políticas públicas de qualidade do ar, quanto para análise de viabilidade técnica e econômica de implementação de BAT/BEP, foram focados em material particulado da RMSP, porém podem ser utilizados, de forma adaptada, para outros poluentes e outras regiões do país.

Finalmente, para que de fato a adoção desses elementos, ou mesmo parte deles ocorra, antes de se conceber ou revisar políticas públicas, para a imperiosa melhoria da qualidade do ar, é necessário que haja planejamento, envolvimento das partes interessadas com suas demandas legítimas, que, como visto em duas importantes regiões do mundo, podem ser equilibradas quanto aos aspectos social, ambiental e econômico, ou seja, de forma sustentável.

REFERÊNCIAS

AMANN, M. et al. Cost-effective control of air quality and greenhouse gases in Europe: Modeling and policy applications. **Environmental Modelling and Software**, Laxenburg, v. 26, p. 1489-1501, 2011.

ANDRADE et al. Air quality in the megacity of São Paulo: Evolution over the last 30 years and future perspectives **Atmosferic Environment**. São Paulo, v. 159, p. 66-82, 2017.

ASSUNÇÃO et al. **Estimativa do custo de controle de dióxido de enxofre na Região Metropolitana de São Paulo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 13o, 1985. Artigo. São Paulo, CETESB, 1985. p.15.

ASTROM. S. **Research and reflections on European air pollution policy support models**. Tese (Doutorado em filosofia) - Universidade de tecnologia, Gotemburgo, 2017.

BRASIL. Lei Federal Complementar nº14, de 8 de junho de 1973. Criação da Região Metropolitana de São Paulo. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/Lcp14.htm>. Acesso em: 12 fev. 2019.

BRASIL. Portaria Minter nº 231 de 27 de abril de 1976. Estabelece padrões de qualidade do ar. Disponível em: < <http://www4.planalto.gov.br/legislacao/>>. Acesso em: 12 fev. 2019.

BRASIL. Lei nº9.638, de 31 de agosto de 1981. Institui a Política Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: 12 fev. 2019.

BRASIL. Decreto 91.145 de 15 de março de 1985. Cria o Ministério de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. ar. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1980-1987/decreto-91145-15-marco-1985-441412-publicacaooriginal-1-pe.html>>. Acesso em: 12 fev. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº18 de 17 de junho de 1986. Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores – PROCONVE. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=41>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 05, de 25 de agosto de 1989. Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar – PRONAR. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=81>>. Acesso em: 30 jan. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 03 de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>>. Acesso em: 12 mar. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº297, de 26 de fevereiro de 2002. Estabelece os limites para emissões de gases poluentes por ciclomotores, motocicletas e veículos similares novos-PROMOT. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/_arquivos/36_09102008030453.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 382 de 26 de dezembro de 2006. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=520>>. Acesso em: 12 fev. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 436 de 22 de dezembro de 2011. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=660>>. Acesso em: 12 fev. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 491 de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>>. Acesso em: 12 fev. 2019.

CARNEVALE, C. et al. An integrated assessment tool to define effective air quality policies at regional scale. **Environmental Modelling & Software**. Itália, v. 38, p. 306-315, 2012.

CARNEVALE, C. et al. Exploring trade-offs between air pollutants through an Integrated Assessment Model. **Science of the Total Environment**. Brescia, v. 481, p. 7-16, 2014.

CETESB- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Ação da Cetesb em Cubatão; situação em junho de 1994: relatório técnico; São Paulo, 1994. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

CETESB- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Plano de Redução de Emissão de Fontes Estacionárias- PREFE; São Paulo, 2014. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/plano-de-reducao-de-emissao-de-fontes-estacionarias-prefe/>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

CETESB- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo; São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

CETESB- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível. São Paulo, 2017. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2015/09/GUIA-PREFE-020517.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2019.

CETESB- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Plano de Controle de Poluição Veicular- PCPV 2014-2016. São Paulo, 2017a. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/11/2014/12/pcpv-2014.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

CETESB- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo: relatório técnico. São Paulo, 2018. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>>. Acesso em: 01 mar. 2019.

CIUCCI, et al. Cost-effective reductions of PM2.5 concentrations and exposure in Italy. **Atmospheric Environment**. Bolonha, v. 140, p. 84-96, 2016.

CHENG, M. S. C. **Desafios da gestão da qualidade do ar: dinâmicas e padrões de qualidade do ar no município de Cubatão e entorno.** 2015 Dissertação (Mestrado em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade) - Faculdade de Saúde Pública- Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.

DIEESE- DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS. Mercado de Trabalho da RMSP. São Paulo, 2018. Disponível em: < <https://www.dieese.org.br/>>. Acesso em: 10 jan. 2019.

EC-EUROPEAN COMMISSION. Second position paper on particulate matter. Luxemburgo, 2004. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/archives/cape/pdf/working_groups/2nd_position_paper_pm.pdf> Acesso em: 20 mai. 2019.

EC- EUROPEAN COMMISSION, Clean Air for Europe. Luxemburgo, 2005. Disponível em: < http://ec.europa.eu/environment/archives/cape/pdf/cape_dir_en.pdf> Acesso em: 20 fev. 2017.

EC- EUROPEAN COMMISSION, Integrated Pollution Prevention and Control- Best Available Technique Reference Documents. Luxemburgo, 2012a. Disponível em: < <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

EC- EUROPEAN COMMISSION, Integrated pollution prevention and control reference document on (BREF). Economics and Cross-media Effects. Luxemburgo, 2012b. Disponível em: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/ecm_bref_0706.pdf> Acesso em: 22 mar. 2019.

EEA- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, Air Quality in Europe 2018 Report. Luxemburgo, 2018. Disponível em: < <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2018>> Acesso em: 22 mar.2019.

EMPLASA- EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO S/A. Sobre a Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo, 2018. Disponível em: < <https://www.emplasa.sp.gov.br/RMSP>>. Acesso em: 7 dez. 2018.

EUR-LEX- EUROPEAN UNION. Diretiva nº70/220/EEC, de 6 de fevereiro de 1970. Limites de emissão de veículos motores. Luxemburgo. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/policy-documents/directive-70-220-eec>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

EUR-LEX- EUROPEAN UNION. Diretiva nº96/61/EC, de 24 de setembro de 1996.

Sobre o Integrated pollution prevention and control. Luxemburgo. Disponível em: < <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:31996L0061>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

EUR-LEX- EUROPEAN UNION. Diretiva nº2010/75/EU, de 24 de novembro de 2010. Industrial emissions (Integrated pollution prevention and control). Luxemburgo. Disponível em: < <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/75/oj>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

EUR-LEX- EUROPEAN UNION. Diretiva nº2015/ 2193 de 25 de novembro de 2015. Limite de emissão para plantas com média combustão. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32015L2193>>. Acesso em: 9 mar. 2019.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Air Quality in Europe - 2018 Report: relatório técnico. Luxemburgo, 2018 Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2018>> Acesso em: 20 mar. 2018.

FIESP- FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Atlas da Competitividade. São Paulo, sd. Disponível em: <<https://www.fiesp.com.br/atlas-da-competitividade/>> Acesso em: 14 mar.2019

FINLAYSON-PITTS e PITTS JR. **Chemistry of the upper and lower atmosphere**. 1ª ed. Londres: Academic Press, 2000.

FITTIPALDI, J. P. C. **Qualidade do ar e políticas públicas: um estudo de caso sobre a regulamentação de poluentes por fontes estacionárias no Estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado)- Instituto de Pesquisas Tecnológicas-IPT], São Paulo, 2013.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GULIA, S. Urban air quality management- A review. **Atmospheric Air Pollution Research**, Nova Deli, p. 286-304, 2015.

HORDIJK E AMANN- How science and policy combined to combat air pollution problems. **Environmental Policy and Law** **37/4**, Londres, p. 336, 2007.

HUNT, A. et al. Toxicologic and epidemiologic clues from the characterization of the

1952 London smog fine particulate matter in archival autopsy lung tissues. **Environmental Health Perspectives**. New York, p.1209-1213, 2003.

IBAMA- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Relatório PROCONVE: relatório técnico, 2018. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_arquivos/proconve_163.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2019.

IPEA- INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS APLICADAS. Crescimento Econômico, Industrialização e Balanço de Pagamentos: o Brasil dos Anos 70 aos Anos 80. São Paulo, 1983. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=2124>. Acesso em: 01 de fev. 2019.

JUNIOR, D. A. M. S. **Emissões veiculares em São Paulo: quantificação de fontes com modelos receptores e caracterização de material carbonáceo**. Dissertação (Mestrado- Instituto de Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

KANDLIKAR, M. Air pollution at a hotspot location in Delhi: Detecting trends, seasonal cycles and oscillations. **Atmospheric Environment**. Nova Dheli, v. 41, 5934–5947, 2007.

KIESEWETTER et al. **Urban PM_{2,5} levels under EU Clean Air Policy Package**. Reino Unido. Relatório apresentado segundo contrato com Agência Ambiental Europeia, 2014.

KIM et al. A review of human health impact of airborne particulate matter. **Environmental International**. Seul, v. 74, p. 136-143, 2015.

KUKLINSKA, K. et al. Air quality policy in the US and the EU- a review **Atmospheric Air Pollution Research**. Polônia, v. 6, p. 129-137, 2015.

KURA, B. et al. Growing public health concern from poor urban air quality: Strategies for sustainable urban living. **Scientific Research**. Louisiana, Poland, v. 2, p. 1-9, 2013.

LEMOES, M.C.M. The politics of pollution control in Brazil: State actors and social movement cleaning up Cubatão. **World Development**. Arizona, v. 26, p. 75-87,

1998.

LICCO et al. **Padrões de emissão para controle de material particulado na Região da Grande São Paulo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 10º, 1979. Artigo São Paulo, CETESB, 1979. p.33.

LIPFERT F. W. **Air Pollution and Community Health: A Critical Review and Data Sourcebook**. Nova Iorque. Editora Van Nostrand Reinhold, 1994.

MENDES, F.E. **Avaliação de programas de controle de poluição atmosférica por veículos leves no Brasil**. Tese (Doutorado)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

MIRANDA, A. et al. Current air quality plans in Europe designed to support air quality management policies **Atmospheric Air Pollution Research**. Aveiro, p. 434- 433, 2015.

OCDE- ORGANIZAÇÃO PARA DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. *OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction*. Paris. 2011. Disponível em: <<https://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/49846090.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2019.

OCDE- ORGANIZAÇÃO PARA DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. Best available techniques for preventing and controlling industrial pollution. Paris. 2018. Disponível em: < <https://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-management/approaches-to-establishing-best-available-techniques-around-the-world.pdf>>. Acesso em: 1 mar. 2019.

OMS- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Air Quality Guidelines- Global Updates 2005. Genebra. 2006. Disponível em: <http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf?ua=1>. Acesso em: 10 mar. 2019.

OMS- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. WHO Releases. Genebra. 2012. Disponível em: <<https://www.who.int/news-room/detail/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact>>. Acesso em: 10 fev. 2019.

OMS- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. WHO Global Urban Ambient Air Pollution Database. Genebra. 2016. Disponível em: <https://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/cities/en/>. Acesso

em: 11 fev. 2019.

OMS- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Evolution of Air Quality Guidelines; 2017. Disponível em: <<http://www.euro.who.int/>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

PHAM, M. et al. The evolution and impact of testing baghouse filter performance. **Jornal of the Air & Waste Management Association**. California, v. 62, p. 916-923, 2015.

PATSEV et al. The MIT emissions prediction and policy analysis (EPPA) model: Version 4. Report 125. **Joint Program Report Series Report**. Cambridge, 2005.

PERRY, R.B; GREEN, D.W. Perry's Chemical Engineer's Handbook. 8 ed. Nova Iorque. Mc-Graw, 2007.

PERVIN et al. Societal costs of air pollution-related health hazards: A review of methods and results. **Biomed Central**. Malmö, p. 6-19, 2008.

RBLC- RACT/BACT/LAER Clearinghouse. Washington (DC). Disponível em: <<https://cfpub.epa.gov/rbhc/index.cfm?action=Search.BasicSearch&lang=en>>. Acesso em: 24 mar. 2019.

SCHANTZ, M.M. Development of Two Fine Particulate Matter Standard Reference Materials (<4 µm and <10 µm) for the Determination of Organic and Inorganic Constituents. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**. Berlin, v. 408, p. 4257-4266, 2016.

SCHILLER S. e SCHMID, H. Highly efficient filtration of ultrafine dust in baghouse filters using precoat materials. **Powder Technology**. Paderborn, v. 279, p. 96-105, 2015.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 997, de 31 de maio de 1976. Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/norma/?id=46075>>. Acesso em: 13 fev. 2019.

SÃO PAULO (Estado). Decreto Estadual nº 8.468, de 08 de setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/norma/?id=62153>>. Acesso em: 10 fev. 2018.

SÃO PAULO (Estado). Decreto Estadual nº 48.523, de 02 de março de 2004. Introduz alterações no Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976 e suas alterações posteriores, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2004/decreto-48523-02.03.2004.html>>. Acesso em: 31 ago. 2017.

SÃO PAULO (Estado). Decreto Estadual nº 59.113, de 23 de abril de 2013. Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/norma/?id=170057>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

SCHANTZ, M.M. Development of Two Fine Particulate Matter Standard Reference Materials (<4 µm and <10 µm) for the Determination of Organic and Inorganic Constituents. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**. Berlim, v. 408, p. 4257-4266, 2016.

SCHILLER, S., SCHMID, H. Highly efficient filtration of ultrafine dust in baghouse filters using precoat materials. **Powder Technology**. Paderborn, v. 279, p. 96-105, 2015.

SILVA, L.K. Avaliação tecnológica e análise custo-efetividade em saúde: a incorporação de tecnologias e a produção de diretrizes clínicas para o SUS. **Ciência e Saúde Coletiva**. Rio de Janeiro, v. 8, p. 501-520, 2003.

SILVA, M. F. **Reatividade fotoquímica da atmosfera de Cubatão e as influências exógenas**; Tese (Doutorado) – Faculdade de Saúde Pública- Universidade de São Paulo, 2013.

SLOVIC, A.D., RIBEIRO H. Policy instruments surrounding urban air quality: The cases of São Paulo, New York City and Paris. **Environmental Science & Policy**, São Paulo, v. 81, p. 1-9, 2017.

THUNIS, P. et al. Overview of current regional and local scale air quality modeling practices: Assessment and planning tools in the EU. **Environmental Science & Policy**, Ispra, v. 65, p. 13-21, 2016.

TUINSTRA, W. Preparing for the European Thematic Strategy on air pollution: at the

interface between science and policy. **Environmental Science & Policy** 10, Holanda, v. 10, p. 434-444, 2007.

UNECE- UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE. Protocolo de Gotemburgo. Genebra. 2012. Disponível em: <<http://www.unece.org/environmental-policy/conventions/air/guidance-documents-and-other-methodological-materials/gothenburg-protocol.html>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

UNEP- UNITED NATION ENVIRONMENT PROGRAMME. Guideline on Best Environment Practices (BEP) for Environmentally Sounds Management (EMS) of Mercury Contaminated Sites in the Mediterranean. 2014. Disponível em <<https://wedocs.unep.org/rest/bitstreams/45236/retrieve>>. Acesso em: 18 jan 2018.

USEPA- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Clean Air Act*. Washington (DC). 1977. Disponível em: <<https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/clean-air-act-text>>. Acesso em: 04 mar. 2019.

USEPA, UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. EPA Air Pollution Control Cost Manual. Washington (DC). 2002. Disponível em: <https://www3.epa.gov/ttn/ecas/docs/c_allchs.pdf> . Acesso em: 10 mar. 2019.

USEPA- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Benefits and costs of the Clean Air Act 1990-2020. Washington (DC). 2011. Disponível em: <<https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/benefits-and-costs-clean-air-act-1990-2020-second-prospective-study>>. Acesso em: 04 mar. 2019.

USEPA- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Infrastructure SIP Requirements and Guidance. Washington (DC). 2013. Disponível em: <<https://www.epa.gov/air-quality-implementation-plans/infrastructure-sip-requirements-and-guidance>>. Acesso em: 05 mar. 2019.

USEPA- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Particulate Matter (PM10) Trends. Washington (DC). 2019. Disponível em: <<https://www.epa.gov/air-trends/particulate-matter-pm10-trends>>. Acesso em: 15 mar. 2019.

VAN DEN HOVE, Participatory approaches to environmental policymaking: the European Comission Climate Policy Process as a case study. **Ecological**

Economics. Guyancourt Cedex, v. 33, p. 457-472, 2000.

VENDRENNE, M. et al. Advancements in the design and validation of an air pollution integrated assessment model for Spain. **Environmental Modelling & Software.** Madri. v. 57, p. 177-191, 2014.

VIAENE, P. et al. Air quality integrated assessment modeling in the context of EU policy: A way forward. **Environmental Science & Policy.** Bélgica, v. 65, p. 22-28, 2016.

VLACHOKOSTAS, Ch. et al. Multicriteria methodological approach to manage air pollution. **Atmospheric Environment.** Tessaloniki, v. 45, p. 4160-4169, 2011.

VRONTISI et al. Economic impacts of EU clean air policies assessed in a CGE framework. **Environmental Science and Policy.** Zurique, v. 1, p. 54-64, 2016.

WANG, Haidong et al. Global, regional, and national life expectancy, all-cause mortality, and cause-specific mortality for 249 causes of death, 1980–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. **Lancet**, Seattle, v. 316, p. 1459-1544, 2016.

WOLFGANG SCHOPP et al. Integrated assessment of European air pollution emission control strategies. **Environmental Modelling & Software.** Luxemburgo, v.14, p. 1-9, 1998.

YNOUE, Rita Yuri; VALARINI, S. **Characterization of particulate matter from a heavily industrialized environment in Brazil.** Anais. Melbourne: Monash University, 2011.

CURRÍCULO LATTES

Priscila Freire Rocha

Formada em Engenharia Química, pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), em 2003, possui especialização em Sistemas de Gerenciamento Ambiental pela USP (2005) e em Tecnologia de Celulose e Papel pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), em 2009.

Atualmente atua como especialista ambiental na Federação das Indústrias do Estado de São Paulo com os seguintes temas: emissões atmosféricas, áreas contaminadas, *life cycle management*, recursos hídricos, mudança do clima, gestão ambiental empresarial, substâncias químicas controladas.

Certificação pelo autor em: 27 de Maio de 2019.

João Vicente de Assunção

Graduado em Engenharia Industrial Modalidade Química pela Faculdade de Engenharia Industrial FEI da PUCSP(1970), graduado em Engenharia Sanitária pela Universidade de São Paulo (1977), Master of Science em Hygiene/Air Pollution - University of Pittsburgh, EUA (1974), doutorado e livre-docência em Saúde Pública/Saúde Ambiental pela Universidade de São Paulo (1993 e 2006). Professor Assistente (1987-1993), Professor Doutor (1993-2006), Professor Associado (2006-2008) e Professor Titular (2008-2014) da Universidade de São Paulo, lecionando na Faculdade de Saúde Pública e na Escola Politécnica da USP.

Atualmente é Professor Colaborador Sênior da USP. Tem experiência na área da Saúde Pública e Engenharia Ambiental/Engenharia Sanitária, com ênfase em poluição do Ar, atuando principalmente nos seguintes temas: Tecnologias de controle da poluição do ar, poluentes tóxicos, monitoramento do ar, ventilação industrial e gestão ambiental. Realiza estudos e pesquisas sobre substâncias tóxicas (poluentes orgânicos persistentes - POPs, em especial dioxinas e furanos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos - HPA, e metais).

Cerificado pelo autor em: 02 de maio de 2019.